

INGRESO A MEDICINA

CUADERNILLO DE BIOLOGÍA

PROFESORA: ANA ALICIA STOLETNIY

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	6
Unidad I: Composición química de los sistemas biológicos	7
Elementos. Constituyentes. Macroelementos, microelementos, elementos trazas: nombres, importancia, función.....	8
Elementos.....	8
Composición química de los seres vivos	8
Componentes inorgánicos	10
Sales	10
El agua.....	10
Porcentaje en los seres vivos	10
Propiedades.....	11
Propiedades importantes del agua.....	12
Componentes orgánicos biológicos	14
Hidratos de carbono	16
Composición.....	17
Clasificación: ejemplos importantes y funciones biológicas	17
Lípidos. Composición y solubilidad.....	18
Molécula anfipática	18
Clasificación: ejemplos y funciones importantes	19
Proteínas	20
Los aminoácidos	20
Polipéptidos: Composición	21
Niveles de organización de las proteínas	21
Desnaturalización.....	22
Algunos ejemplos importantes y sus funciones biológicas.....	23
Ácidos Nucleicos.....	24
Los nucleótidos: definición y composición	24
Polinucleótidos importantes: composición y funciones.....	25
Importancia de las biomoléculas	26
Unidad II: Estructura Celular I	27
La célula	27
Células procariotas y eucariotas.....	28
Estructuras particulares de célula eucariota y procariota	29
Estructura celular	29
Membrana celular o membrana plasmática.....	30

Composición química	30
Modelo del mosaico fluido	30
Funciones	31
Mecanismo de paso de sustancias por la membrana plasmática	32
a. Difusión simple	32
b. Ósmosis	32
c. Difusión facilitada	33
d. Transporte facilitado	33
e. Transporte activo	34
f. Transporte en masa o vesicular	34
Unidad III: Estructura celular II	36
El Citoplasma	36
El núcleo y los ribosomas	36
Ribosomas	36
Polirribosomas	37
Sistema de endomembranas	37
Retículo endoplásmico rugoso	38
Retículo endoplasmático liso	39
Aparato de Golgi	39
Lisosomas.....	40
Peroxisomas	40
Vacuolas.....	40
Otros organelos membranosos.....	41
Mitocondrias	41
El citoesqueleto.....	42
Microtúbulos	44
Filamentos intermedios	45
Microfilamentos (Filamentos de actina)	46
Estructura del núcleo interfásico	47
Envoltura nuclear: características y funciones.....	48
Cromatina y cromosomas	48
Nucléolo: composición y función	50
ADN.....	51
Replicación (Duplicación)	51
Transcripción	52
Código genético	53

Traducción: síntesis de las proteínas	55
a. Iniciación.....	55
b. Elongación.....	56
c. Terminación.....	56
Regulación de la expresión genética: características.....	57
Resumen	57
Unidad V: Energía celular.....	59
La energía en los seres vivos.....	59
Leyes de la termodinámica.....	59
• 1ª Ley de termodinámica	59
• 2ª Ley de termodinámica	59
Transformaciones energéticas.....	60
Enzimas	61
Poder catalítico	61
Especificidad	62
Eficacia.....	62
a. Recambio	63
b. Energía de activación.....	63
Cinética enzimática	63
a. Efecto de la temperatura	63
b. Efecto del pH	63
Control	64
a. Regulación.....	64
b. Inhibición y regulación alostérica	64
Unidad VI: Metabolismo celular	65
Reacciones anabólicas y catabólicas.....	65
Anabolismo.....	65
Catabolismo	66
Catabolismo de la glucosa	66
Glucólisis.....	67
Fermentación.....	68
a. Fermentación alcohólica	68
b. Fermentación láctica.....	68
Ciclo de Krebs	69
Cadena de transporte de electrones (o cadena respiratoria)	70
Quimiosmosis o fosforilación oxidativa	71

Balance fin Catabolismo al energético	72
de hidratos de carbono, lípidos y proteínas.....	73
Fotosíntesis	74
La fotosíntesis ocurre en los cloroplastos.....	74
Proceso de reducción – oxidación (redox):.....	74
BIBLIOGRAFÍA	76
Unidad I: Composición química de los elementos.....	76
Unidad II: Estructura celular	76
Unidad III: Estructura celular II.....	76
Unidad IV: Núcleo	77
Unidad V: Energía celular	77
Unidad VI: Metabolismo celular	77

Introducción

Dios nos creó con una capacidad asombrosa de conocer nuestra realidad en todas sus manifestaciones, tanto físicas, químicas, biológicas, como las que tienen que ver con la mente y el espíritu humanos. Hemos desarrollado maneras de conocer esta realidad, y una de ellas es la ciencia que, a través del método científico, analiza y estudia las manifestaciones naturales en el mundo físico y el de los seres vivos.

La Biología es el estudio de la vida. Es una ciencia fascinante, que te llevará a conocer y entender estructuras y procesos maravillosos, diminutas máquinas moleculares y complejos sistemas que hacen funcionar un órgano, y hasta conductas sociales complejas en los organismos.

Los últimos y espectaculares avances en la genética y la biología molecular han revolucionado la medicina, varias industrias e incluso las ciencias del comportamiento humano.

Este curso te familiarizará con los conceptos básicos de la biología que ya has conocido y estudiado. Es solo un repaso para refrescar en tu mente información que te servirá para luego profundizar y prepararte sólidamente para la profesión que haz escogido.

El curso está dividido en 13 unidades que tratan los temas básicos de la biología, comenzando con el nivel de organización biológica más básico y luego repasando los diferentes niveles más complejos, considerando tanto los componentes y las estructuras como su organización y funcionamiento. No solo es una característica básica de la vida su alto grado de orden, sino que además en todos sus niveles de organización existe una exquisita correlación entre estructura y función. Todo este orden y organización está basado en un sistema jerárquico en el que todos los niveles se construyen sobre los niveles inferiores, comenzando en la base con las moléculas formadas de elementos químicos.

Autor: Dr. Roberto Biaggi

Revisión y adaptación: Lic. Ana Alicia Stoletniy Cuchma

Unidad I: Composición química de los sistemas biológicos

La materia, incluso aquella que compone a los organismos más complejos está constituida por combinaciones de elementos químicos. En la Tierra existen unos 92 elementos, muchos de ellos son muy conocidos, como el hierro, el carbono, el oxígeno y el calcio.

La partícula más pequeña de un elemento es el átomo. Las partículas formadas por dos o más átomos se conocen como moléculas.

Los seres vivos están constituidos por los mismos componentes químicos que los seres abióticos. Son seis los elementos que constituyen el 99% de toda la materia viva, ellos son C, H, N, O, P y S. En los seres vivos la materia está organizada en niveles de organización de la materia.



Elementos. Constituyentes. Macroelementos, microelementos, elementos trazas: nombres, importancia, función.

Elementos

Los químicos han descubierto y descrito unos 92 elementos en la naturaleza, como por ejemplo el oro, el oxígeno o el carbono. Los elementos son sustancias que no pueden ser partidas por reacciones químicas para formar otras sustancias. Las propiedades de los elementos, y de los compuestos que forman, se dan por la estructura de los átomos. Cada elemento químico consiste en un tipo particular de átomo diferente al de cualquier otro tipo de elemento. A su vez los átomos están formados por partículas subatómicas (actualmente más de 100), como los protones, los neutrones y los electrones.

Composición química de los seres vivos

Unos 25 elementos químicos son esenciales para los seres vivos. No todos son indispensables para todos los organismos. La *Tabla 1* lista 25 elementos químicos existentes en los organismos, muestra el porcentaje de cada uno con respecto a la masa corporal y detalla algunas funciones y comentarios. Dependiendo de su concentración se clasifican en: *Macroelementos* (concentración mayor del 1%), *Microelementos* (concentraciones entre 0,05 y 1%) y *Elementos Traza* (o también llamados *oligoelementos*, concentraciones menores al 0,05%).

Elemento químico (Símbolo)	Porcentaje respecto de la masa corporal	Algunas funciones importantes
Macroelementos		
Oxígeno (O)	65,0	-Componente del agua y moléculas orgánicas con C -Necesario en respiración celular, en la fabricación de sustancias de alta energía
Carbono (C)	18,5	-Elemento básico de todas las moléculas orgánicas
Hidrógeno (H)	9,5	-Componente del agua y la mayoría de las moléculas orgánicas -Contribuye a la acidez (con carga positiva (H+))

Tabla 1. Elementos químicos que existen en los seres vivos

Elemento químico (símbolo)	Porcentaje respecto de la masa corporal	Algunas funciones importantes
Nitrógeno (N)	3,3	-Componente de todas las proteínas y ácidos nucleicos
Calcio (Ca)	1,5	-Cación (Ca ²⁺), principalmente extracelular -Forma parte de tejido óseo y dientes - Participa en contracción muscular y coagulación
Microelementos		
Fósforo (P)	1,0	-Componente de muchas proteínas, ácidos nucleicos y nucleótidos como el ATP (adenosín trifosfato, sustancia de alta energía) -Formación normal de huesos y dientes
Potasio (K)	0,4	-Más importante catión (K ⁺) intracelular -Interviene en la transmisión del impulso nervioso y en la contracción muscular
Azufre (S)	0,3	-Componente de muchas proteínas, principalmente en células musculares
Sodio (Na)	0,2	-Más importante catión (Na ⁺) extracelular -Esencial para mantener equilibrio hídrico en sangre -Necesario en la conducción del impulso nervioso y en la contracción muscular
Cloro (Cl)	0,2	-Más importante anión (Cl ⁻) extracelular -Participa en la regulación de la presión osmótica
Magnesio (Mg)	0,1	-Importante catión (Mg ²⁺) -Constituyente de la molécula de clorofila (en plantas) -Importante en la actividad de algunas enzimas
Yodo (I)	0,1	-Vital para la producción de hormonas en la tiroides
Elementos Traza (Oligoelementos)		
Hierro (Fe) Boro (B) Cobalto (Co) Cobre (Cu) Manganeso (Mn) Molibdeno (Mo) Sílice (Si) Vanadio (V) Zinc (Zn) Aluminio (Al) Cromo (Cr) Estaño (Sn) Flúor (F)		-Importante como cationes (Fe ²⁺ y Fe ³⁺) -Constituyentes de hemoglobina y mioglobina -Todos los elementos traza son importantes componentes estructurales de diversas biomoléculas importantes como hormonas, enzimas o proteínas, y algunos actúan como cofactores enzimáticos regulando la actividad de las enzimas

Los átomos se combinan a través de uniones químicas para formar moléculas. Este nivel superior de organización se da porque se forman enlaces de diferentes fuerzas que mantienen a los átomos unidos: los más fuertes son los enlaces covalentes y los iónicos.

Componentes inorgánicos

Cuando dos átomos se unen pueden formar diferentes compuestos de acuerdo con la naturaleza de los elementos químicos y del tipo de uniones químicas.

Sales

Las sales son compuestos químicos que resultan de la unión de átomos de diferentes cargas eléctricas (iones) a través de uniones iónicas (también se denominan compuestos iónicos). El más electronegativo de los dos, atrae un electrón del otro elemento y es transferido a su propia órbita externa para completarla y de tal manera se produce la unión iónica.

Un ejemplo es el Cloruro de Sodio (ClNa, sal de mesa común): Cuando el átomo de sodio (11Na) se encuentra con uno de cloro (17Cl), el único electrón en el orbital externo (nivel energético externo) salta del sodio al cloro de tal manera que ambos átomos quedan con sus niveles energéticos exteriores completos.

En la naturaleza existen sales a menudo en forma de cristales, cada uno un agregado de gran número de cationes y aniones unidos por su atracción eléctrica y en un arreglo tridimensional especial. Usualmente las sales pueden disolverse fácilmente en agua.

Los átomos (o moléculas) así cargados se denominan iones y existen en dos formas: **Catión** (carga +, positiva) y **Anión** (carga -, negativa). En la Tabla 1, se muestran una cantidad de iones importantes para los seres vivos, tales como los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , y los aniones Cl^- , P y S (en varias formas), entre otros.

El agua

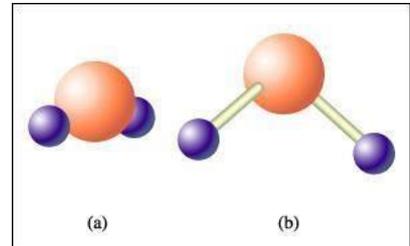
El agua es uno de los componentes inorgánicos más importantes. Es fundamental para la vida. Es el medio biológico fluido que permite los procesos fisicoquímicos y las condiciones esenciales para que los organismos estén vivos. La estructura molecular del agua está dada por 2 átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno que se mantienen unidos por enlaces covalentes. Es una molécula polar, forma enlaces puente hidrógeno con moléculas.

Porcentaje en los seres vivos

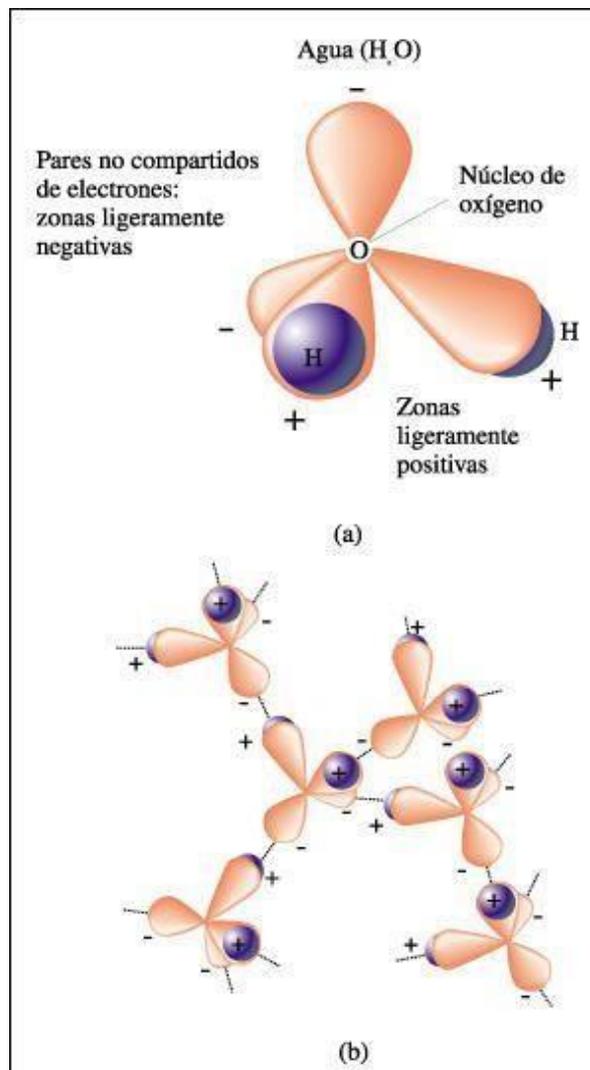
La mayoría de las células están rodeadas de agua y en general un 70% del peso total de un organismo es agua. La abundancia de agua en la Tierra es una buena razón por la cual hay vida en el planeta. La cantidad de agua en las células varía desde 60% a 95%.

Propiedades

Una de las características sobresalientes del agua es su **polaridad**. Debido a su configuración tridimensional en forma de V, la molécula de agua, que resulta por la unión de un átomo de O (más electronegativo que el H) y dos de H a través de un enlace covalente polar, tiene una región (lado del oxígeno) parcialmente negativa y del otro extremo



parcialmente positivo (lado de los hidrógenos). Eso le da su propiedad polar, y la porción negativa de la molécula se atrae con la positiva de otra molécula de agua y forman **puentes de hidrógeno**, uniones débiles (1/20 de la fuerza de un enlace covalente), y por tanto en su forma líquida estas uniones son frágiles. Se rompen y vuelven a formar rápidamente de tal manera que el agua mantiene lo que se llama **cohesión**. Estas características permiten una serie de propiedades importantes del agua.



Propiedades importantes del agua

La *Tabla 2*, lista una serie de propiedades del agua que demuestran cuán importante es el agua para la vida.

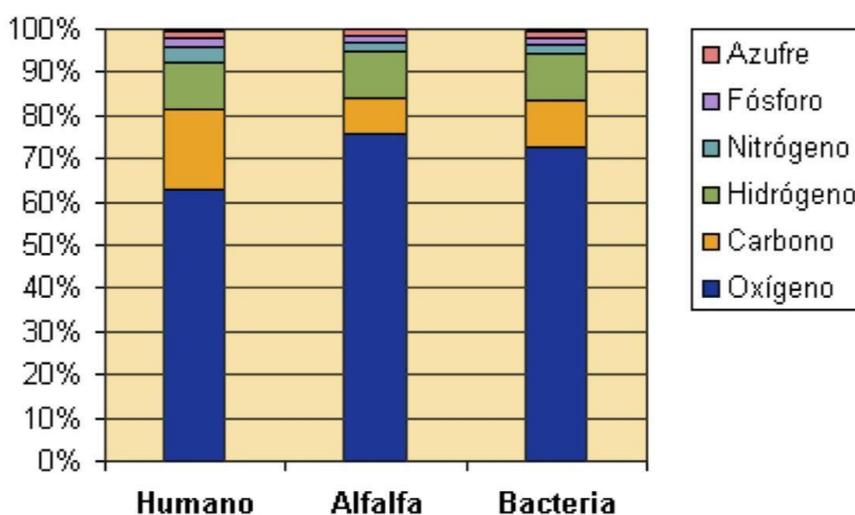
Tabla 2. Propiedades importantes del agua		
Propiedad general	Propiedades específicas	Comentarios
Polaridad	Alta constante dieléctrica	Ayuda a mantener separadas partículas con cargas opuestas
	Ordenamiento de moléculas	Forma una capa de hidratación que estabiliza y mantiene en solución a los iones
	Función metabólica	Actúa como reactivo (fuente de poder reductor) y también para hidrólisis de macromoléculas
Cohesión de moléculas	Capilaridad	Cohesión y adhesión a paredes facilita el transporte en vasos de las plantas
	Tensión superficial	Tensión en una superficie de agua permite el movimiento de organismos sobre la misma
	Medio de soporte	Como no se comprime fácilmente es buena para el soporte (ej. para mantener la presión de turgencia en tejidos vegetales)
	Lubricante	La viscosidad del agua contribuye en el líquido sinovial, el pleural y el mucus
Moderador	Alta capacidad calorífica	El elevado calor específico hace que los cuerpos sean termoestables (absorbe calor)

Propiedad general	Propiedades específicas	Comentarios
de temperatura	Alto calor de vaporización	Con una mínima pérdida de agua se pueden enfriar rápidamente los cuerpos (ej. sudor, disipa calor)
	Punto de fusión y ebullición	Fusión (0°C) y ebullición (100°C) permiten un amplio rango de temperatura en que el agua permanece como líquido
	Volatilidad/estabilidad	Equilibrada con las temperaturas de la Tierra, mantiene el ciclo de evaporación, transpiración y precipitación
Gran solvente	Movilidad molecular	Las uniones débiles permiten que las moléculas se muevan con facilidad (por ej. permitiendo la ósmosis)
Capacidad disociativa		Debido a la alta polaridad de las moléculas de agua, entre ellas se forman puentes de hidrógeno y como consecuencia, una molécula de agua tiene la capacidad de ceder un protón a la molécula vecina y esto ocasiona que la molécula que cedió su protón quede con una carga neta negativa y la molécula de agua que lo acepta quede con una carga positiva. Esto indica que el agua se ioniza, ya que actúa como un ácido al donar protones (H ⁺) llamado también iones hidrógeno y como una base al aceptarlos, según la teoría de Brønsted y Lowry.
Otras propiedades físicas	Transparencia	Al permitir el paso de la luz se favorecen una cantidad de procesos (ej. fotosíntesis, alimentación)
	Expansión por congelación	El hielo flota y se forma una capa aislante para los organismos debajo
	Cambios de densidad	Favorecen la circulación de masas de agua moviendo nutrientes
	Disponibilidad del agua	Es la "actividad acuosa" (a _w), donde las moléculas de agua están disponibles para interactuar con solutos y otras moléculas

Componentes orgánicos biológicos

Al analizar la composición química de diferentes organismos podemos determinar la abundancia e importancia de varios elementos químicos. Observa la figura más abajo, en la que se comparan un microorganismo, una planta y el ser humano: ¿qué tres elementos químicos constituyen cerca del 90% de su peso?

¿Agregando qué otro elemento constituye como el 95% del peso? Y no es difícil ver que solo seis elementos químicos prácticamente constituyen el total del peso de los organismos (los porcentajes detallados están en la *Tabla 3*): los que solemos abreviar como CHONPS (con la salvedad que el oxígeno es el más abundante, el resto queda en el orden correspondiente).



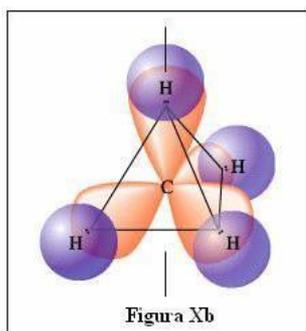
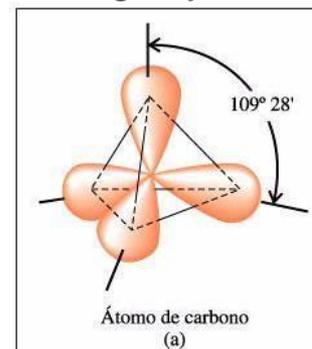
Composición de elementos básicos en diversos organismos (Curtis 2000)

Tabla 3. Composición atómica de 3 seres vivos

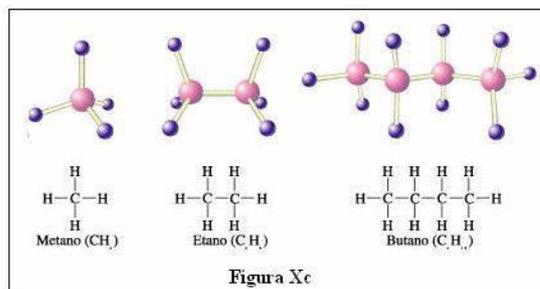
Elemento	Humano	Alfalfa	Bacteria
Carbono	19,37%	11,34%	12,14%
Hidrógeno	9,31%	8,72%	9,94%
Nitrógeno	5,14%	0,83%	3,04%
Oxígeno	62,81%	77,90%	73,68%
Fósforo	0,63%	0,71%	0,60%
Azufre	0,64%	0,10%	0,32%
TOTAL	97,90%	99,60%	99,72%

Estos elementos se combinan entre sí para formar cuatro tipos de moléculas importantes para los seres vivos, que tienen como base estructural el carbono (C), y las llamamos **moléculas orgánicas**: carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos. Todas éstas contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Además, las proteínas contienen nitrógeno y azufre, y los nucleótidos, y algunos lípidos, contienen nitrógeno y fósforo.

Debido a su estructura tridimensional, el carbono tiene la habilidad de unirse en forma covalente con por lo menos cuatro otros átomos, y de rotar libremente alrededor de una unión covalente, dándole la capacidad de formar variadas estructuras. En la figura del *átomo de carbono* (a) se puede ver la esta estructura propia del carbono que le confiere su carácter versátil en la construcción de biomoléculas.



En la figura Xb, se ve la unión de un átomo de carbono con cuatro hidrógenos para formar metano (CH₄), y en la figura Xc, se observan las representaciones de cuatro gases diferentes que resultan de la variada unión del carbono con el hidrógeno (metano, etano y butano).



Cadenas de átomos de carbono forman los esqueletos de la mayoría de las moléculas orgánicas. Algunas de estas cadenas tienen enlaces dobles que pueden variar en su número y ubicación, y junto con otros elementos químicos que pueden unirse en lugares disponibles determinan la variedad de compuestos que se pueden formar.

Este arreglo de elementos y grupos de moléculas le confiere a una molécula orgánica sus propiedades distintivas. Ciertos grupos de átomos característicos que determinan la naturaleza de los compuestos orgánicos se denominan grupos funcionales. En la *Tabla 4*, se muestran algunos grupos funcionales importantes. (*Podés consultar tus notas del Módulo de Química para ver más detalles sobre estos grupos funcionales*).

GRUPO	FÓRMULA ESTRUCTURAL	MODELO	BIOCOMPUESTOS
HIDROXILO	$-\text{OH}$		CARBOHIDRATOS
CARBONILO	$\text{C}=\text{O}$		LÍPIDOS
CARBOXILO	$\text{C}(=\text{O})\text{OH}$		AMINOÁCIDOS ÁCIDOS GRASOS
AMINO	$-\text{N}(\text{H})_2$		PROTEÍNAS AMINOÁCIDOS
FOSFATO	$\text{O}=\text{P}(\text{O}^-)_2$		ADN, ATP

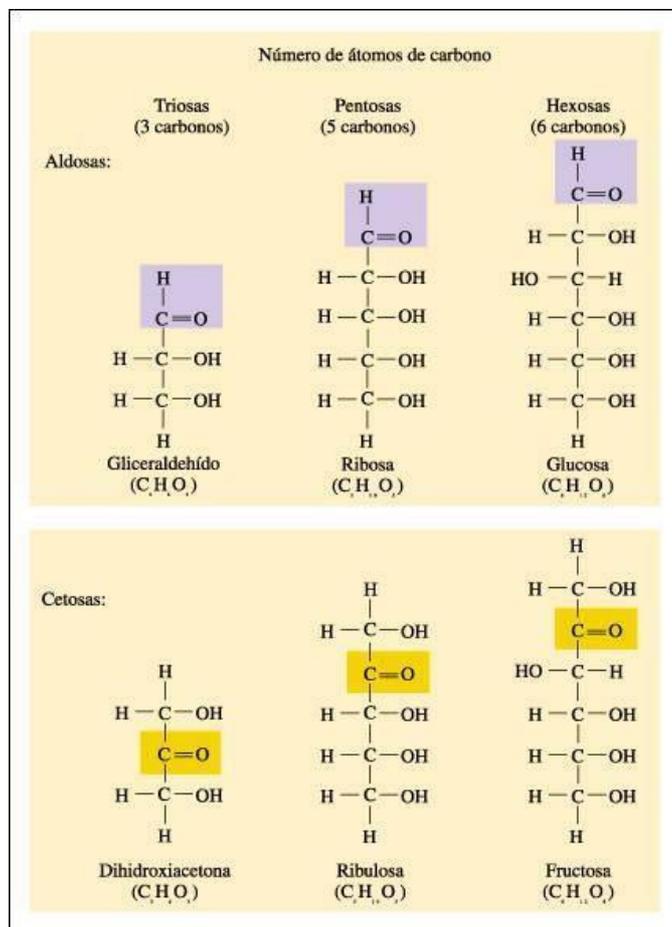
Los grupos hidroxilo, cetona y aldehídos forman los hidratos de carbono. El carboxilo es típico de los ácidos grasos que forman los lípidos, y los grupos funcionales amino son los que resultan en aminoácidos, los bloques de construcción de las proteínas. Los fosfatos se unen a una diversidad de moléculas para formar otras más complejas, por ejemplo, los fosfolípidos y los nucleótidos y cumple un papel importante en la transferencia de energía.

A veces se usa el término biomoléculas para referirnos a moléculas importantes para los seres vivos, que incluyen tanto las moléculas orgánicas, como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, como también otras como ciertas vitaminas, y los minerales, que son inorgánicos.

Hidratos de carbono

Los compuestos orgánicos que contienen carbono, hidrógenos y oxígeno. A su vez pueden tener alguno o una combinación de los grupos funcionales carbonilo e hidroxilo. Los carbohidratos incluyen los azúcares (incluyendo los azúcares simples) y sus polímeros (cadenas de azúcares simples). Son una de las moléculas más importantes como combustibles y materiales de construcción.

Composición: Los carbohidratos son polialcoholes unidos a un grupo funcional cetona o aldehído, las moléculas derivadas de éstos, y los polímeros de ambos. Los azúcares simples, como la glucosa, reciben el nombre de monosacáridos. La estructura del monosacárido más común es la glucosa, $C_6H_{12}O_6$. La función principal de los azúcares simples es proporcionar energía y una fuente de carbono. Los disacáridos resultan de la unión de 2 monosacáridos y los polisacáridos son macromoléculas resultantes de la unión de muchos monosacáridos.



Clasificación: ejemplos importantes y funciones biológicas

La *Tabla 5* muestra los diferentes tipos de carbohidratos, clasificados según el número de monómeros (azúcares simples) que los formen: monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Los azúcares simples se pueden clasificar de acuerdo con el número de átomos de carbono que tenga: por ej., **triosa**, un azúcar de tres carbonos como el gliceraldehído; **pentosas**, de cinco carbonos, como los azúcares que forman los ácidos nucleicos, la ribosa y la desoxirribosa; y la glucosa y la galactosa, que son **hexosas** porque tienen seis átomos de carbono.

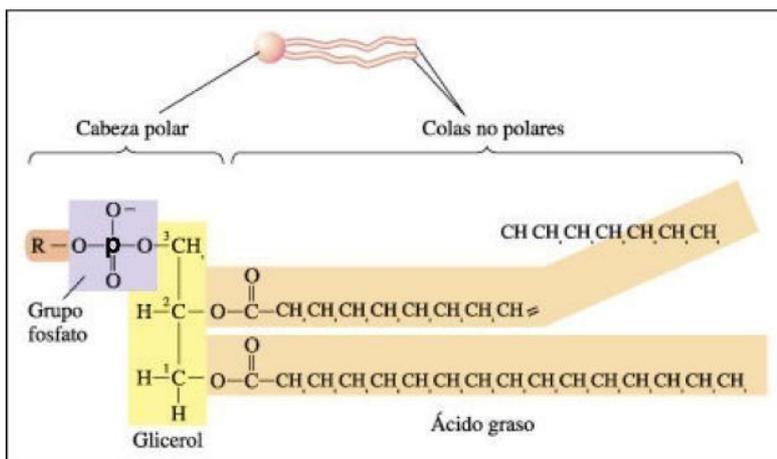
Tabla 5. Clasificación de los carbohidratos		
<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Funciones</i>
Monosacáridos: un azúcar simple	Gliceraldehido (triosa, aldosa)	Intermediario en procesos metabólicos y precursor del glicerol
	Glucosa (hexosa, aldosa)	Fuente más importante de energía en las células
	Fructosa (hexosa, cetosa)	Intermediario en la respiración celular
	Ribulosa (pentosa, cetosa)	Intermediario en la fotosíntesis
	Ribosa (pentosa, aldosa)	Componente del ARN
	Desoxiribosa (pentosa, aldosa)	Componente del ADN
Oligosacáridos: 2-10 azúcares simples: por ej: Disacáridos (2)	Sacarosa (glucosa-fructosa)	Azúcar de caña, azúcar común
	Lactosa (glucosa-galactosa)	Azúcar de la leche
	Maltosa (glucosa-glucosa)	Producto intermedio en la degradación del almidón
Polisacáridos: cientos a miles	Almidón (dos polímeros: amilasa y amilopectina)	Reserva energética vegetal por excelencia
	Glucógeno (polímero ramificado de glucosa)	Reserva energética animal, especialmente en el hígado y músculos
	Celulosa (polímero lineal de glucosa)	Función estructural en paredes de células vegetales
	Quitina (polímero de acetil-glucosamina: tiene N)	Forma parte del exoesqueleto de artrópodos

Lípidos. Composición y solubilidad

Son moléculas no-polares y son hidrofóbicas (no se disuelven en agua, aunque sí en otros solventes orgánicos no polares como el éter). Son moléculas grandes que no forman polímeros y sus componentes se pueden asociar espontáneamente formando macromoléculas. Aunque tienen algunas uniones polares en asociación con oxígeno, los lípidos en general consisten en hidrocarburos. Es un grupo de gran variabilidad en tanto la forma como la función. Forman alrededor del 18% al 25% del peso del cuerpo de un adulto promedio. Los lípidos incluyen ceras, y ciertos pigmentos, aunque los más comunes son las grasas y aceites, los fosfolípidos y los esteroides. Una de las funciones importantes (aunque no la única) de los lípidos es el almacenamiento de grandes cantidades de energía.

Molécula anfipática

En general, los lípidos son moléculas no polares y por lo tanto hidrofóbicas, lo que les permite viajar libremente en la sangre. Sin embargo, algunos lípidos complejos como los fosfolípidos pueden tener una región polar (por ejemplo, la “cabeza” del fosfolípido, formada de glicerol y de un grupo fosfato, que está unida a dos “colas”, los ácidos grasos, que no son polares). Estas moléculas que tienen regiones polares y no polares se llaman “anfipáticas”. De esta manera, los fosfolípidos establecen uniones de cola a cola en una doble hilera para formar membranas celulares de estructura “bicapa”.



Clasificación: ejemplos y funciones importantes

En la *Tabla 6* se muestran diversos tipos de lípidos de acuerdo con su complejidad señalando los diferentes lípidos y el papel que desempeñan en el organismo: Los más abundantes en el cuerpo y en la dieta humanos son los triglicéridos o grasas neutras, que pueden ser sólidos (grasas) o líquidos (aceites) y son la fuente más concentrada de energía química en el cuerpo. Algunos de sus componentes, los ácidos grasos que tienen 2, 3, y 4 enlaces dobles, como no se sintetizan en el cuerpo deben ser incorporados en la dieta y por tanto se consideran ácidos grasos esenciales.

Otros lípidos importantes son los **fosfolípidos** (lípidos que contienen fósforo) que son componentes esenciales de las membranas, los **esteroides** (colesterol, cortisol, vitamina D y hormonas sexuales), los **carotenos** (los pigmentos amarillo-anaranjados), las **vitaminas A, E, K** y los **eicosanoides** (como las prostaglandinas, asociados a membranas e importantes para procesos de coagulación e inmunidad entre otros).

Tabla 6. Clasificación de los lípidos		
Tipo	Ejemplo	Funciones
Simple	Ácidos grasos: ácidos carboxílicos lineales -Saturados: Ácido palmítico -Insaturados: Ácido oleico	-Integran o son precursores de moléculas más complejas -Son combustibles celulares
	Glicéridos o grasas neutras: ésteres de un glicerol y uno o más ácidos grasos: mono, di, o triglicéridos; aceites y grasas	-Reservas energéticas más concentrada en el organismo -Aislantes térmicos -Al degradarse producen calor
	Ceras: ésteres de ácidos grasos	-Protección, lubricación, o impermeabilización -Estructural: cera de abejas
Complejos	Fosfolípidos: ésteres de glicerol con dos ácidos grasos y un ácido fosfórico	-Estructurales: importante en las membranas celulares -En vaina de mielina que recubre axones de neuronas

Tipo	Ejemplo	Funciones
	Glucolípidos y esfingolípidos	Componentes de membranas celulares
	Lipoproteínas y proteolípidos	Transporte en plasma sanguíneo y estructurales
Otras sustancias lipídicas	Esteroides: como los esteroides, sales biliares, hormonas y vitaminas	-Colesterol: integra membranas celulares -Sales biliares: emulsionantes y facilitan hidrólisis y absorción de grasas -Hormonas sexuales: andrógenos, estrógenos y progesterona
	Terpenos	-Forman fitohormonas y algunas vitaminas: K, E, A, y carotenos
	Prostaglandinas	-Regulan actividad hormonal, presión sanguínea y contracción del músculo liso

Proteínas

Macromoléculas muy importantes y con una estructura muy compleja, son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Las proteínas constituyen como el 50% del peso seco de la mayoría de las células, y son uno de los componentes más importantes en la mayoría de las actividades de un organismo. Proteína, del griego *proteios*, que significa “primer lugar”, denota la importancia funcional de esta macromolécula: soporte estructural, almacenamiento, transporte de otras sustancias, señalización y comunicación entre moléculas y células, movimiento, regulación de reacciones químicas, y defensa frente a sustancias extrañas. Existen miles de proteínas diferentes, cada una cumpliendo funciones específicas en el cuerpo de los organismos.

Aminoácidos

Composición química, número. Las proteínas son polímeros de aminoácidos que resultan en polipéptidos, y éstos forman estructuras más complejas llamadas proteínas. Los aminoácidos poseen dos grupos funcionales: carboxilo y amino. El carbono central del aminoácido se llama carbono alfa y está unido a los dos grupos funcionales, un átomo de hidrógeno y una cadena R, que es diferente para cada uno de los 20 aminoácidos que la célula usa para fabricar proteínas (existen otros aminoácidos en la naturaleza, como 150, pero no se usan para formar proteínas. Según la naturaleza de su grupo R, los aminoácidos se clasifican en hidrofílicos (ej. ácido aspártico, lisina), e hidrofóbicos (ej. alanina, leucina).

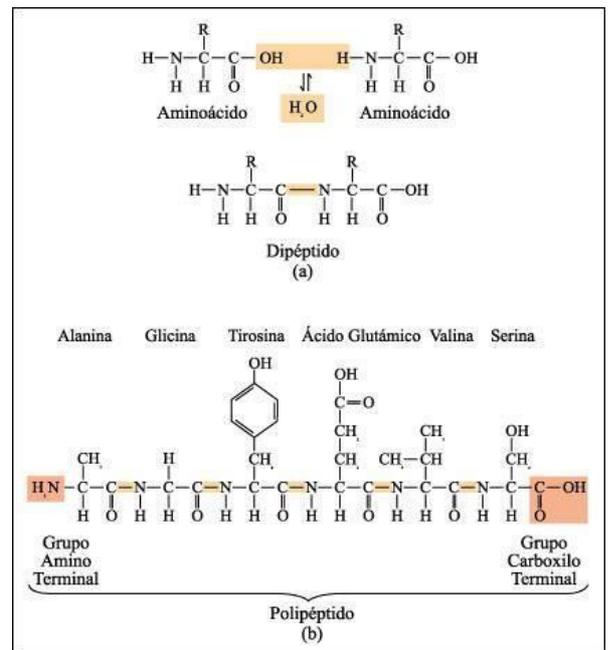
El átomo de C alfa, es un carbono asimétrico, por lo cual cada aminoácido puede existir en dos formas asimétricas ópticamente activas: forma D (dextrógira) y forma L (levógira). Las proteínas sólo se forman con aminoácidos L.

Solo 10 de los aminoácidos se fabrican en el mismo cuerpo animal a partir de hidratos de carbono y lípidos. La otra mitad no se sintetiza por lo que debe ingerirse con la dieta. Estos se denominan **aminoácidos esenciales**.

Polipéptidos: Composición

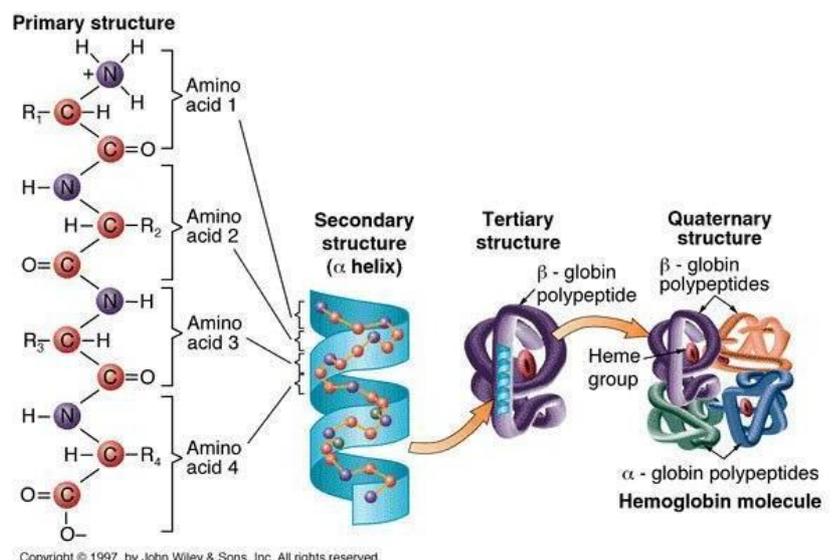
Los polipéptidos son polímeros de aminoácidos (aa) que se unen en una secuencia específica. El grupo funcional amino de un aminoácido se une al grupo carboxilo de otro aminoácido gracias a la acción de una enzima en una reacción deshidratante. La unión covalente que resulta se llama **unión peptídica**.

Dos aminoácidos unidos de esta manera constituyen un dipéptido y una cadena de hasta 10 aminoácidos se denomina oligopéptido. Cadenas de más de 10 aminoácidos cuyo peso molecular menor de 10.000 se llaman polipéptidos. Una proteína es una cadena polipeptídica de peso molecular mayor de 10.000, o también varias cadenas polipeptídicas de arreglo tridimensional complejo. Una proteína promedio tiene alrededor de 200 aminoácidos, y como se pueden formar con 20 aminoácidos diferentes, se pueden combinar en millones de maneras para formar miles de proteínas, cada una con una estructura y función específica.



Niveles de organización de las proteínas

Estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Cada proteína fabricada por la célula tiene su propia forma tridimensional distintiva. Esta forma, conformación o configuración de la proteína es la que determina su función específica. Las proteínas tienen cuatro niveles de organización:



- a. **Primaria:** Cada proteína tiene una estructura primaria única, una secuencia precisa de aminoácidos. Es la secuencia y número total de aminoácidos en la cadena lineal, que resultó al unirse los aminoácidos con uniones covalentes (**peptídicas**) de acuerdo con la información del código genético. Un leve cambio en la estructura primaria podría afectar la forma y función de la proteína. Por ej. en la *hemo-globina* (proteína de los glóbulos rojos que transporta el oxígeno), la substitución de solo un aminoácido en la cadena polipeptídica (tiene 146 aa en la cadena), causa la enfermedad conocida como anemia falciforme (que es heredable) y que causa una deformación del mismo glóbulo rojo y pérdida de funcionalidad.
- b. **Secundaria:** La mayoría de las proteínas tienen segmentos de sus cadenas polipeptídicas enrolladas o plegadas en formas que van determinando la conformación de la proteína. Con puentes de hidrógeno a intervalos regulares se forman dos tipos de configuraciones: **Hélice** (o alfa- hélice) y **hoja plegada** (hoja plegada beta). Las regiones helicoidales existen mayor elasticidad mientras en que las plegadas hay mayor rigidez. Según la proteína habrá mayor configuración de una o de la otra.
- c. **Terciaria:** Un enrollamiento o plegamiento irregular de la cadena con la estructura secundaria. Estas vueltas irregulares se mantienen unidas por puentes de hidrógeno y enlaces iónicos, interacciones hidrofóbicas con fuerzas de van der Waals, todas estas uniones débiles, y además reforzadas por uniones covalentes fuertes llamadas puentes de disulfuro (–S–S–).
- d. **Cuaternaria:** Algunas proteínas consisten en dos o más cadenas de polipéptidos y se denomina proteína oligomérica. La hemoglobina, por ejemplo, tiene cuatro subunidades globulares (protómeros: cada cadena polipeptídica), que se mantienen unidas por uniones débiles y covalentes. El colágeno, una proteína fibrosa, está formado por tres subunidades helicoidales entrelazadas (dándole la forma de una sogá muy resistente).

Ahora se sabe que existen moléculas proteicas especiales llamadas **chaperonas**, que asisten en el plegamiento y enrollamiento de las proteínas, para asegurar la conformación final correcta.

Desnaturalización

La cadena polipeptídica puede enrollarse y plegarse espontáneamente para formar su estructura tridimensional definitiva que le da su funcionalidad. Esto ocurre cuando se produce la síntesis de proteínas en la célula, aunque siempre bajo ciertas condiciones físico-químicas especiales de su medioambiente, relacionadas con el

pH, la temperatura, la concentración de sales entre otras. Cuando estas condiciones no son óptimas, la conformación nativa (funcional) de la proteína se altera, y la proteína pierde su funcionalidad, en un proceso llamado **desnaturalización**. Muchas veces la desnaturalización puede ser un proceso reversible, cuando se eliminan los factores que la causaron, lo que sugiere que la conformación final de la proteína está intrínsecamente determinada en su estructura primaria.

Algunos ejemplos importantes y sus funciones biológicas

Al presente se conocen más de 100.000 proteínas (en diferentes organismos). Actualmente se está trabajando en el “proteoma humano”, tratando de determinar todas las proteínas que existen en el cuerpo humano y cómo se relacionan con el genoma humano (la información necesaria para su fabricación). En la *Tabla 7* se muestran varios ejemplos de proteínas con sus funciones más importantes y clasificadas de acuerdo con el papel que desempeñan en el cuerpo.

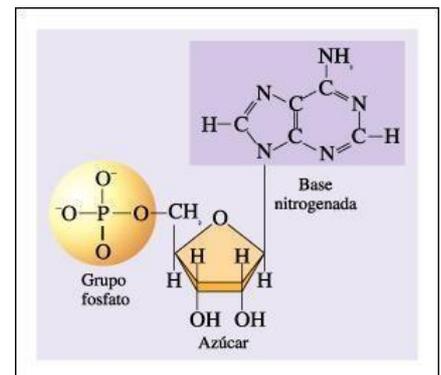
Tabla 7. Clasificación de las proteínas		
Tipo	Ejemplo	Funciones
Estructurales: esqueleto estructural de partes del cuerpo	Colágeno	Estructura de huesos y tejidos conectivos
	Queratina	Piel, pelo y uñas
Almacenamiento: de aminoácidos	Caseína	Proteína de la leche, fuente de aminoácidos para las crías
Reguladoras: funcionan regulando procesos fisiológicos, controlan el crecimiento y desarrollo y hacen posible transmisión del impulso nervioso.	Hormona insulina	Regula el nivel de glucosa en la sangre
	Neurotransmisor P	Media la sensación de dolor
Receptoras: comunicación entre células	Receptores en membrana	Receptores en la membrana de una célula nerviosa detectan señales químicas de otras neuronas
Contráctiles: hacen posible el acortamiento de células musculares y facilitan el movimiento	Actina y miosina	Forman parte de las unidades contráctiles de los músculos y hacen posible su contracción; filamentos de actina son parte del citoesqueleto de la célula y otras forman cilios y flagelos
Transportadoras: transportan sustancias por el cuerpo	Hemoglobina	Transporta oxígeno en la sangre
Catalíticas: actúan regulando reacciones químicas	Todas las enzimas son proteínas: por ej. amilasa salival, lipasa y lactasa	Estas son solo algunas de las enzimas digestivas (otras enzimas facilitan la unión o el desdoblamiento de moléculas)
Inmunológicas: actúan como defensas frente a infecciones.	Anticuerpos e interleucinas	Desactivan bacterias y virus, y sustancias extrañas en el cuerpo

Ácidos Nucleicos

Son polímeros con alta capacidad de información. Son las macromoléculas que almacenan y transmiten la información hereditaria. Existen dos tipos de ácidos nucleicos: el **ácido desoxirribonucleico** (ADN) y el **ácido ribonucleico** (ARN). Los ácidos nucleicos son las moléculas claves para la formación de las estructuras, el desarrollo de los organismos, el funcionamiento y su reproducción. El ADN, una de las moléculas más importantes en los seres vivos, controla su propia replicación, dirige la síntesis de otros ácidos nucleicos y a través de ellos, conduce la síntesis de proteínas. Están formados por monómeros denominados **nucleótidos**.

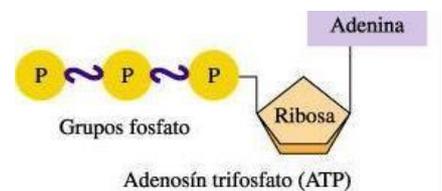
Los nucleótidos: definición y composición

Son los bloques de construcción (monómeros) de los ácidos nucleicos. En la *Tabla 8* se muestran los componentes de los nucleótidos que determinan la formación del ADN y el ARN. Todos los nucleótidos están formados por tres subunidades: **una base nitrogenada** (purinas o pirimidinas), un **azúcar** (aldopentosa: desoxirribosa o pentosa), y un **grupo fosfato**.



Nucleótidos importantes: composición y función. Como se aprecia en la *Tabla 8*, existen cinco tipos diferentes de nucleótidos en los ácidos nucleicos, y además otros nucleótidos muy importantes en procesos fisiológicos energéticos. En el ADN los nucleótidos contienen el azúcar desoxirribosa y las bases nitrogenadas adenina, guanina, citosina y timina. En el ARN el azúcar es la ribosa, y en lugar de tener la base nitrogenada timina, ésta es reemplazada por el uracilo. Las bases nitrogenadas unidas a los azúcares se denominan **nucleósidos**, que a su vez al unirse al grupo fosfato forman los **nucleótidos**.

Otro nucleótido indispensable para la vida es el **adenosín trifosfato (ATP)**. Es la sustancia química energética por excelencia de todos los seres vivos. Está formado por una adenosina (adenina y ribosa) y tres grupos de fosfato. Al liberar el último grupo fosfato, una molécula de ATP confiere su energía para facilitar el trabajo celular, y queda otro nucleótido, el **ADP** (adenosín difosfato). El **AMP** (adenosín monofosfato) también es un nucleótido importante en las células.



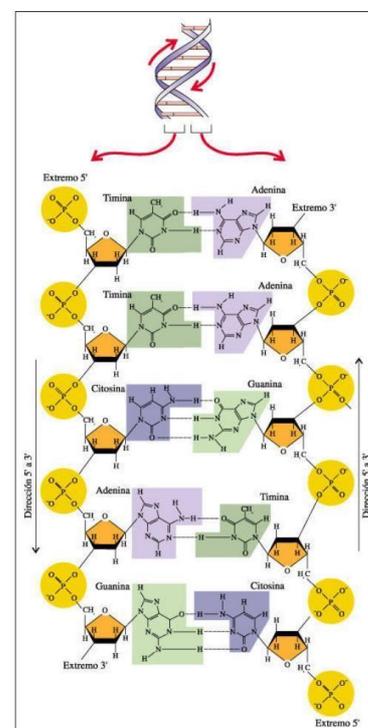
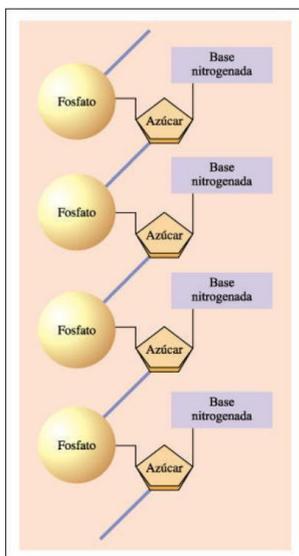
La **NAD** (nicotinamida adenina dinucleótido), una coenzima y la **FAD** (flavina adenina dinucleótido) son dinucleótidos que funcionan como aceptores de electrones en muchas reacciones energéticas.

Polinucleótidos importantes: composición y funciones

En la *Tabla 8* se muestran dos de los polinucleótidos más importantes, el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico), con algunos puntos importantes sobre su estructura y función.

Tabla 8. Tipos de ácidos nucleicos: estructura, localización y funciones		
	Ácido desoxirribonucleico	Ácido ribonucleico
<i>Localización</i>	Principalmente en el núcleo (también hay ADN en las mitocondrias y cloroplastos)	Principalmente en el citoplasma (también en el núcleo)
<i>Estructura general</i>	Cadena doble de desoxirribonucleótidos	Cadena simple de ribonucleótidos
<i>Bases pirimidínicas</i>	Citosina	Citosina
	Timina	Uracilo
<i>Bases purínicas</i>	Adenina	Adenina
	Guanina	Guanina
<i>Azúcar (pentosa)</i>	Desoxirribosa	Ribosa
<i>Función principal</i>	Información genética	Síntesis de proteínas

El **ADN** está conformado por dos cadenas lineales unidas a través de las bases nitrogenadas de cada nucleótido por puentes de hidrógeno. Estas uniones son específicas de tal modo que la **adenina** (purina) siempre se une con la **timina** (pirimidina) con dos puentes de hidrógeno, y la **guanina** (purina) siempre con la **citocina** (pirimidina) debido a que se une con tres puentes de hidrógeno. Este sistema asegura la especificidad de las uniones. La cadena doble tiene una helicoidal, o doble hélice, o modelo de Watson y Crick (los que propusieron esta estructura en 1953). Como se verá más adelante estas cadenas forman los genes y cromosomas, que constituyen la información genética esencial para la vida, y de este ADN se sintetizan los diferentes ARNs.



Existen varios tipos de **ARN** (ácido ribonucleico). Sus nucleótidos tienen el azúcar ribosa, las bases nitrogenadas adenina, guanina, citosina y **uracilo** (en lugar de timina), y el grupo fosfato. En lugar de ser un polinucleótido doble como en el ADN, está formado por una cadena simple y lineal, pero que puede adoptar diferentes formas (anillos, pliegues y formas tridimensionales complejas) a través de uniones químicas. Tres de los ARNs más importantes y que están directamente involucrados en la síntesis de proteínas son: el **ARN mensajero** (ARNm) que lleva la información genética contenida en el ADN para determinar la secuencia de aminoácidos de la proteína que se sintetiza, el **ARN de transferencia** (ARNt), molécula con forma de hoja de trébol, que transporta los aminoácidos a los sitios de síntesis de proteínas, y el **ARN ribosómico** (ARNr) que forma las subunidades de los ribosomas, el organelo celular donde se sintetizan las proteínas.

El ADN no solo determina la fabricación de los ARNs y por tanto la síntesis de proteínas, sino que además contienen el código genético, la información sobre los rasgos y características de los individuos, que se transmiten de una generación a otra, tanto en la división celular como en la reproducción.

Importancia de las biomoléculas

A modo de resumen. Todos los seres vivos están compuestos, en su mayor parte, por carbono, hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno, y pequeñas cantidades de azufre y fósforo. Estos elementos químicos se unen a través de enlaces especiales (covalentes, iónicos, puentes de hidrógeno) para formar primero moléculas simples y luego moléculas complejas. Debido a la versatilidad del carbono, se forman diferentes conformaciones que determinan los diferentes grupos funcionales que les otorgan características específicas a las diferentes moléculas orgánicas. Esta versatilidad del carbono posibilita la formación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, todas macromoléculas complejas de las que están hechas las células vivas, las unidades estructurales y funcionales de los organismos.

Unidad II: Estructura Celular I

La célula

Las células son las unidades más pequeñas y básicas de la estructura y función biológicas, varían en tamaño y forma. Cada célula es capaz de llevar a cabo los procesos esenciales para la vida: obtener y asimilar nutrientes, eliminar residuos, sintetizar materiales para la célula, moverse y reproducirse, en algunos casos. Las células tienen una compleja arquitectura interna que le permite realizar todas las funciones, existe una gran variedad de estructuras internas llamadas organelas que son las encargadas de llevar a cabo actividades ya mencionadas.

Las macromoléculas orgánicas se combinan para formar estructuras celulares (membranas, organelos, etc.) que en un grado extraordinario de coordinación con otras moléculas desarrollan complejas reacciones y procesos metabólicos para lograr la autoconservación y perpetuación del organismo vivo. Debido a estas propiedades se desarrolló la que es uno de los fundamentos de la biología moderna: 1) todos los seres vivos están formados por una o más células; 2) todas las reacciones químicas de un organismo, incluyendo las metabólicas y de biosíntesis se desarrollan en las células; 3) todas las células se originan de otras células (existe una continuidad desde la primera célula que existió); y 4) la célula posee información hereditaria que pasa de generación en generación.

Variedad, tamaños y formas

Existe una gran diversidad de tipos, formas y tamaños celulares. De una célula original se pueden producir otras iguales o se pueden diferenciar en varios tipos de células, que desarrollarán diversos papeles y funciones en los organismos. La mayoría de las células no se ven a simple vista, sino que requieren del uso de microscopios. Dado los límites de resolución del microscopio óptico, existen células y componentes celulares que solo pueden verse con el microscopio electrónico. La Tabla 1 muestra algunos ejemplos de células y sus componentes en relación con el tamaño y su observación. El tamaño de la célula está limitado por la relación entre superficie y volumen, a más superficie por volumen, puede entrar o salir un mayor número de materiales por unidad de tiempo. Además, el tamaño está relacionado a las actividades metabólicas: las más activas tienen a ser más pequeñas.

También las células varían en su morfología: esféricas (por ej. bacterias llamadas cocos, algunos protozoos), alargadas o en forma de bastón (bacterias: bacilos), espirales (bacterias: espirilos), poliédricas (células epiteliales, células vegetales), cilíndricas (fibra muscular esquelética de los animales), ahusadas o fusiformes (célula muscular lisa), disco bicóncavo (glóbulo rojo de la sangre), irregulares (en protozoos, células nerviosas como las neuronas), y formas variables (cambian su forma: como las

amebas unicelulares, y los glóbulos blancos).

Tabla 1. Variedad de tamaños celulares

10m			
1m	Estatura humana	Se ven	
	Algunas células nerviosas y musculares; alga unicelular		
0,1m	Huevo de gallina		
1cm			
1mm	Huevo de rana		
100µm	Óvulo humano	Microscopio óptico	
	Mayoría de células animales y vegetales		
10µm	Núcleo		Microscopio electrónico
	Mayoría de bacterias		
1µm	Mitocondrias		
	Micoplasmas		
100nm	Bacterias más pequeñas		
	Virus		
10nm	Ribosomas		
	Proteínas		
1nm	Lípidos		
	Moléculas pequeñas		
0,1nm	Átomos		

Células procariotas y eucariotas

Todos los organismos están formados por uno de los dos tipos principales de células que son estructuralmente diferentes: células procariotas y células eucariotas. Las moneras (arqueobacterias y eubacterias) son las únicas formadas por células procariotas. Todos los demás (protistas, plantas, hongos y animales) tienen células eucariotas.

Todas las células tienen dos características en común: una membrana externa, la membrana celular (o membrana plasmática) y el material genético (ácidos nucleicos con la información hereditaria) que dirige las actividades de la célula y le permite dividirse transmitiendo sus caracteres a los descendientes. Sin embargo, muchos organismos unicelulares y los organismos multicelulares o pluricelulares poseen células mucho más complejas, con una cantidad de estructuras y caracteres adicionales que los procariotas.

Estructuras particulares de célula eucariota y procariota

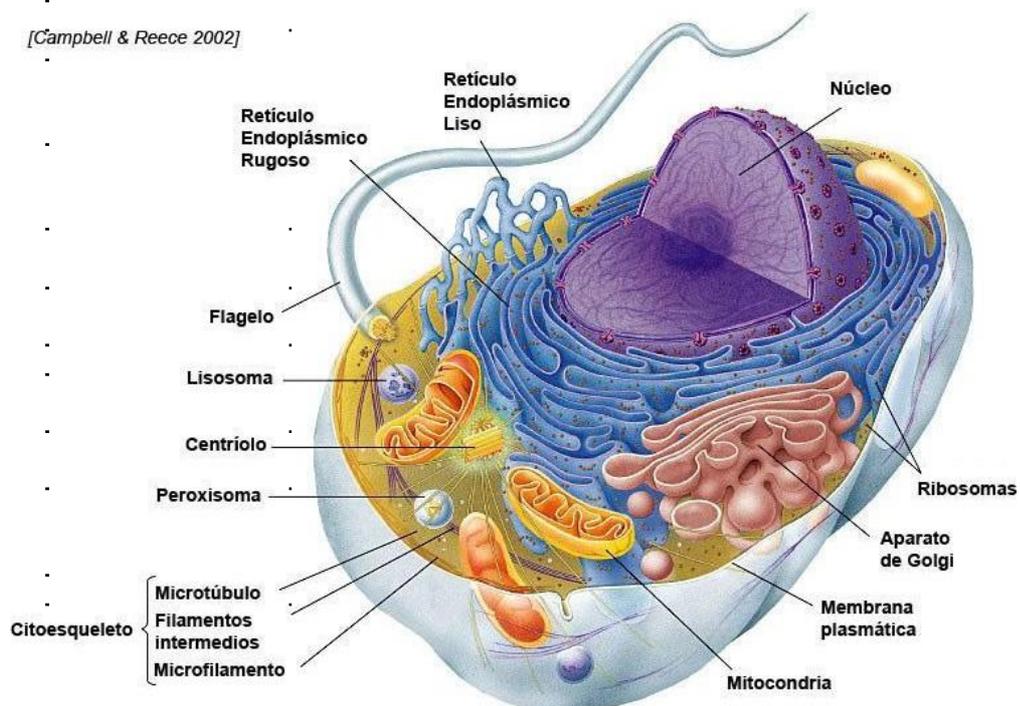
La *Tabla 2* lista una cantidad de componentes y caracteres celulares mostrando la diferencia entre las células procariotas y las eucariotas.

Tabla 2. Estructura y componentes celulares en procariotas y eucariotas		
Caracteres	Células Procariotas	Células Eucariotas
Nucleares		
Núcleo	Zona nuclear	Núcleo verdadero
Relación al citoplasma	Sin separación	Separado
Membrana nuclear:	No	Sí
ADN	Circular, cerrado	Lineal, abierto
Cromosomas	Unico, desnudo, sin proteínas	Múltiples, ADN asociado a proteínas
Nucleótidos	No	Sí
Nucleolo	No	Sí
División	Fisión binaria	Mitosis o meiosis
Citoplasmáticos		
Ribosomas	Subunidades 70S (50S+30S)	Subunidades 80S (60S+40S)
Endomembranas	No	Sí
Lisosomas	No	Sí
Mitocondrias	No	Sí
Cloroplastos	No	Sí, en células vegetales
Pared celular	No celulósica, compleja	Celulósica en células vegetales
Endo y exocitosis	No	Sí
Citoesqueleto	No	Sí
Flagelos	Sí, estructura simple	Sí, y cilios, estructura compleja
Centríolos	No	Sí, en protistas y animales

Estructura celular

En la *Tabla 3* se enumeran los diferentes componentes y subcomponentes celulares típicos de las células con algunas de las funciones principales de cada uno. En las células eucarióticas existe una variedad de estructuras internas, los organelos, que son muy similares, en la mayoría de los casos, en los diferentes tipos de células de los diferentes organismos. En las siguientes unidades podremos estudiar con más detalle varios de estos componentes y apreciar la maravillosa correlación entre la estructura y la función. Y más abajo, en la *figura de la célula*, se muestra una típica célula eucariota animal con todas sus características y organelos.

[Campbell & Reece 2002]



Todas las células están rodeadas por una membrana, la membrana plasmática, que las separa del medio circundante y provee un espacio interno lleno de una sustancia semifluida, el citosol, donde se encuentran los diferentes organelos y estructuras celulares. Todas las células contienen cromosomas, que contienen los genes formados por el ADN. En las células eucariotas, los cromosomas están separados del resto de la célula para una membrana nuclear, lo que determina el núcleo. Toda la región entre el núcleo y la membrana plasmática se denomina citoplasma (también se usa para todo el interior de las células procariotas), y allí, inmersos en el citosol están todos los organelos y estructuras que realizan sus funciones celulares.

Membrana celular o membrana plasmática

La membrana celular, como todas las membranas biológicas, consiste en una delgada capa de fosfolípidos y proteínas, tiene entre 7 y 9 nanómetros de grosor.

Las membranas están generalmente rodeadas por un medio acuoso, lo que hace que las moléculas de fosfolípidos se dispongan formando una bicapa, de acuerdo con el modelo de mosaico fluido, en los cuales están insertas las moléculas de proteínas y de colesterol.

Composición química

La membrana plasmática (así como todas las endomembranas de los diferentes organelos) están conformados por una capa doble de fosfolípidos y otros lípidos. Además, incluidos en esta bicapa o adheridos, se encuentran diversas proteínas y carbohidratos, que serán específicos de acuerdo con las funciones de la membrana.

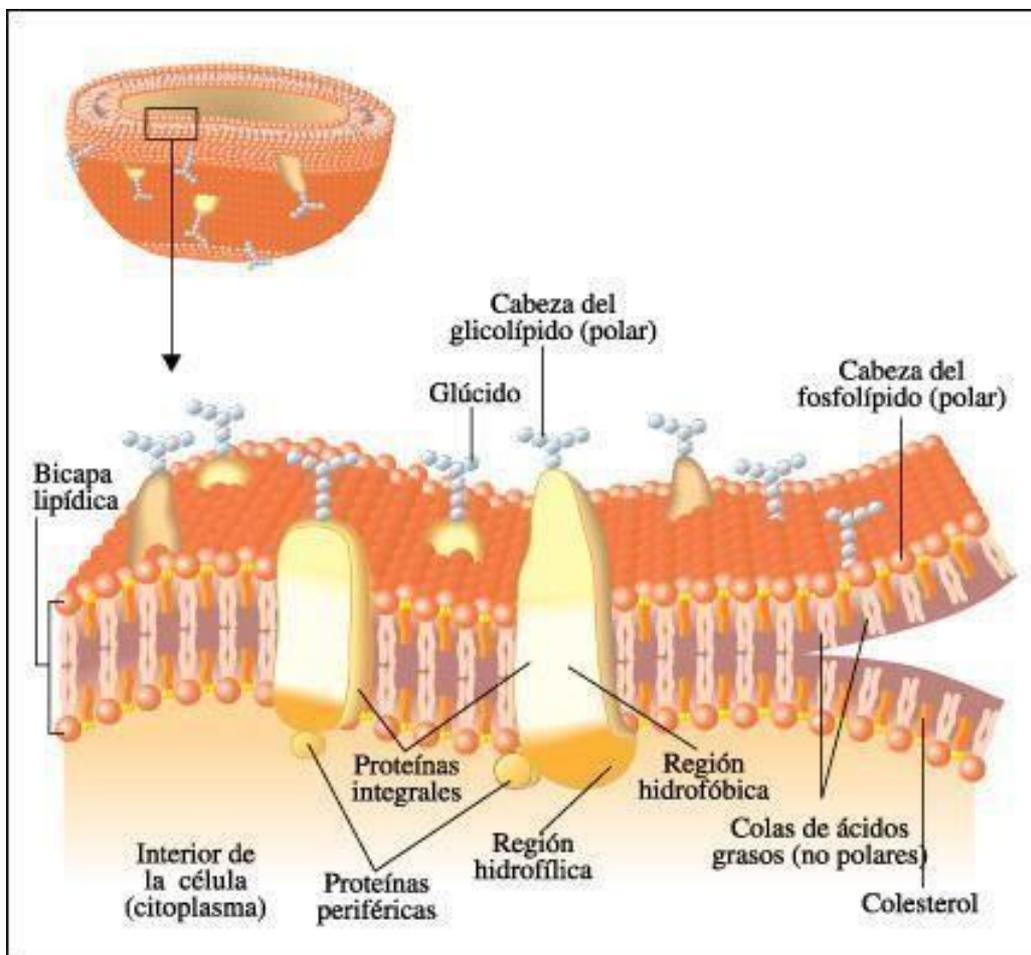
Se ha calculado que las membranas de las células eucariotas están formadas por: 40-50% lípidos (fosfolípidos, colesterol, esfingolípidos), 40-50% de proteínas (integrales o periféricas: sumergidas en la bicapa, con una porción sobresaliendo hacia el interior o exterior de la membrana, y otras que son transmembrana, sobresaliendo de ambos lados), y 2-10% de carbohidratos (lado externo de membrana: oligosacáridos unidos a proteínas, glucoproteínas, o a lípidos formando glucolípidos, importantes para el reconocimiento entre las células).

Modelo del mosaico fluido.

Este es el modelo que mejor explica una cantidad de características y procesos de las membranas celulares. De acuerdo con este modelo, las membranas celulares, estructuras fluidas y dinámicas, se forman a partir de esta bicapa de fosfolípidos.

- a. La estructura de la membrana es una bicapa fosfolipídica. Esto debido a la naturaleza anfipática de los fosfolípidos que se orientan de acuerdo con sus regiones hidrofóbicas e hidrofílicas.
- b. Inmersos en la bicapa, se encuentran las proteínas y colesterol.

- c. La mayoría de los lípidos y algunas proteínas pueden moverse lateralmente en el plano de la bicapa (los fosfolípidos más rápidamente que las proteínas). Algunas proteínas parecen moverse en direcciones determinadas, mientras otras permanecen bastante fijas (de acuerdo a su relación con el citoesqueleto).
- d. Las membranas contienen una diversidad de proteínas que realizan funciones específicas (tanto integralmente como periféricamente), por lo que se consideran un mosaico tanto funcional como estructural.



Funciones

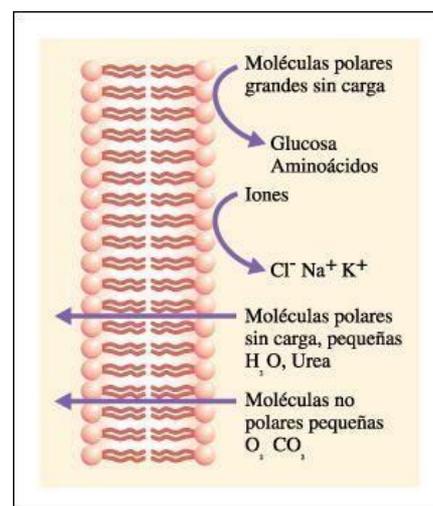
- a. La membrana plasmática al rodear la célula provee un espacio interno, diferente del exterior, en el que se pueden realizar ciertas actividades importantes para la célula.
- b. A su vez, y a través de estructuras membranosas (endomembranas), en el interior de la célula se forman compartimentos especiales (como el retículo endoplásmico), proveyendo espacios específicos para funciones especiales. De estas membranas se pueden formar vesículas en cuyo interior se pueden transportar sustancias específicas.

- c. Otros organelos complejos, como las mitocondrias y cloroplastos, también son sistemas de membranas con compartimentos especializados que no solo proveen espacios sino también superficies para reacciones químicas específicas.
- d. La membrana plasmática provee protección, delimitación, forma y contención a la célula.
- e. Tiene moléculas especializadas que funcionan como receptores para otras moléculas como hormonas y enzimas.
- f. Además, tienen receptores que participan en el reconocimiento de otras células
- g. Al ser semipermeable participa en la entrada y salida de materiales de forma selectiva.

Mecanismo de paso de sustancias por la membrana plasmática

Esta última función, una de las más importantes de la membrana, resulta de la su habilidad de regular el transporte de sustancias hacia el interior o hacia el exterior de la célula. Y para esta función, la estructura de mosaico fluido es esencial, y encaja muy bien para explicar esta propiedad tan importante. La estructura molecular de la membrana resulta en su permeabilidad selectiva, permitiendo una variedad de maneras en las que pueden entrar y salir las sustancias químicas.

- a. **Difusión simple:** Las moléculas solubles en lípidos atraviesan la bicapa fosfolipídica con facilidad, al moverse a favor de un gradiente de concentración (de donde están más concentradas hacia donde están menos concentradas). De esta manera, moléculas no polares pequeñas como el oxígeno, el anhídrido carbónico, ácidos grasos, y algunas moléculas pequeñas que no tienen carga como el agua, la urea y el glicerol, pasan directamente por la bicapa por difusión simple.

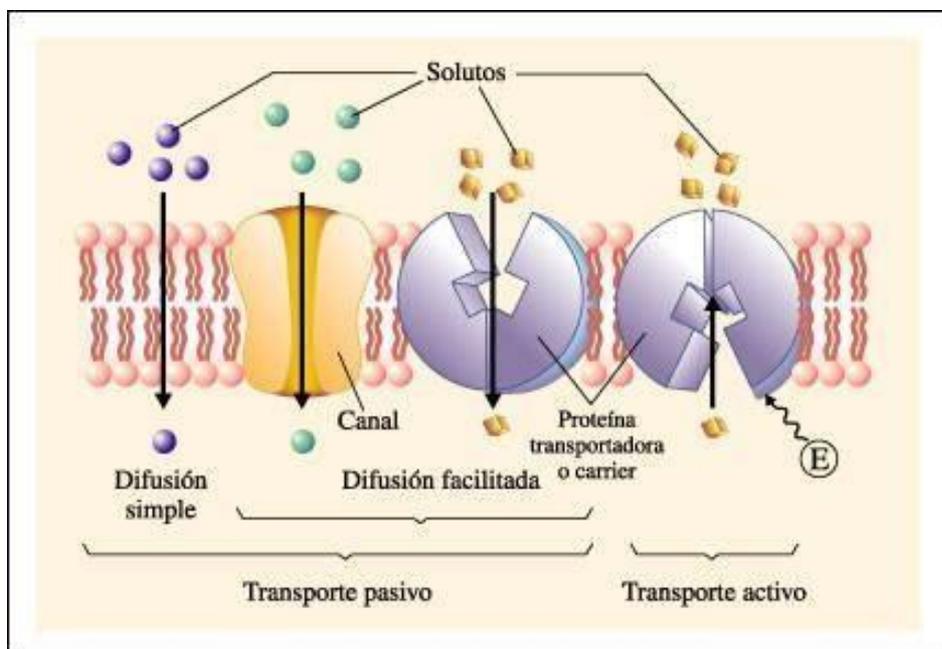


- b. **Ósmosis:** La ósmosis es el transporte pasivo de agua. Cuando una solución tiene una alta concentración de solutos (con respecto a otra solución), se dice que es hipertónica, mientras que la de baja concentración se denomina hipotónica (dos soluciones de igual concentración se llaman isotónicas). Como en la solución hipertónica existen mayor número de moléculas de agua comprometidas (unidas) con moléculas del soluto, las moléculas de agua disponibles (concentración de moléculas de agua) es menor que la de una solución hipotónica. Por esta razón las moléculas de agua de una solución hipotónica se difundirán a través de una membrana hacia una solución hipertónica.

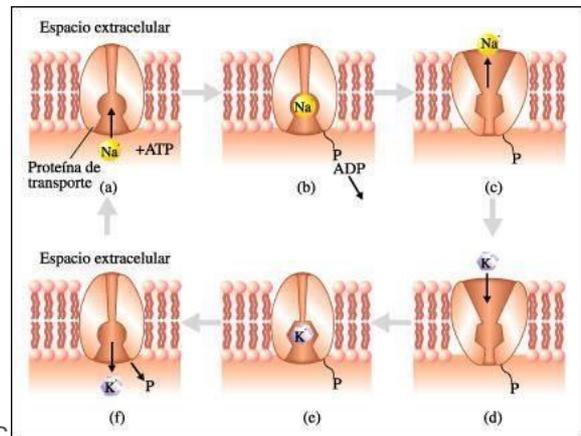
Este proceso se denomina ósmosis, y termina cuando se produce un equilibrio (soluciones isotónicas).

- c. **Difusión facilitada:** Es la difusión facilitada por proteínas de la membrana que actúan como transportadoras. Muchas de estas proteínas simplemente son canales, permitiendo el paso rápido de agua o pequeños iones (como Na^+ , K^+ , y Ca^{2+}) a través de la membrana. Muchas de estas proteínas canal, funcionan en forma específica para ciertas moléculas, incluso, pudiendo permanecer siempre abiertas, o disponiendo de tapas o portones que pueden abrirse y cerrarse de acuerdo con las necesidades de la célula.
- d. **Transporte facilitado:** Mecanismo de transporte de sustancias insolubles en lípidos, como monosacáridos y aminoácidos, por medio de proteínas transmembrana llamadas carriers o transportadoras, que por un lado pueden reconocer las sustancias a transportar, y por otro, una vez unidas cambian su conformación estructural posibilitando el transporte a través de la membrana (siempre a favor de un gradiente de concentración) y la liberación final de la sustancia del lado opuesto.

Es importante notar (como se ve en el diagrama de resumen más abajo) que todos estos mecanismos de transporte, *difusión simple*, *ósmosis*, *difusión facilitada* y *transporte facilitado*, **no requieren de energía** para que ocurran. Solo dependen de la concentración de las moléculas. En cambio, el *transporte activo* de proteínas **sí requiere energía** en la forma de ATP, como se explica a continuación.

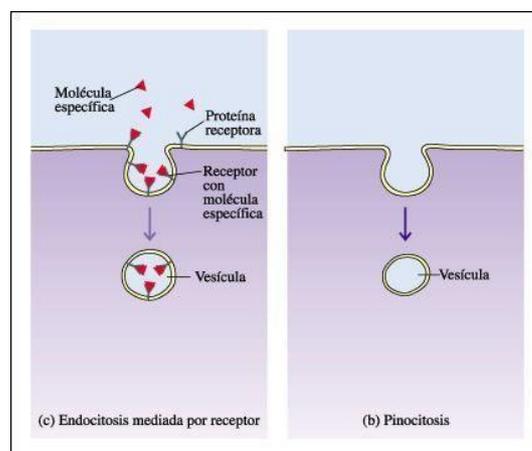


e. **Transporte activo:** Este proceso bombea los solutos en contra de un gradiente de concentración a través de una membrana, permitiendo la acumulación de sustancias de un lado particular de la membrana. En algunos casos el transporte activo de un soluto hace posible el transporte de otras sustancias al mismo tiempo y en la misma dirección (cotransporte de tipo simporte) y en ciertos casos se produce en sentido opuesto (cotransporte tipo antiporte). El ejemplo clásico de este mecanismo es **la bomba de Na⁺ y K⁺**, en la que una sola proteína bombea el Na⁺ hacia el exterior de la célula manteniendo su alta concentración allí, mientras en la dirección opuesta bombea el K⁺, manteniendo una alta concentración de K⁺ en el interior de la célula. Para poder liberar las sustancias del lado de mayor concentración se necesita energía en forma de ATP. Esta distribución específica de iones a ambos lados de la membrana es de suma importancia en procesos como la conducción del impulso nervioso en las neuronas.

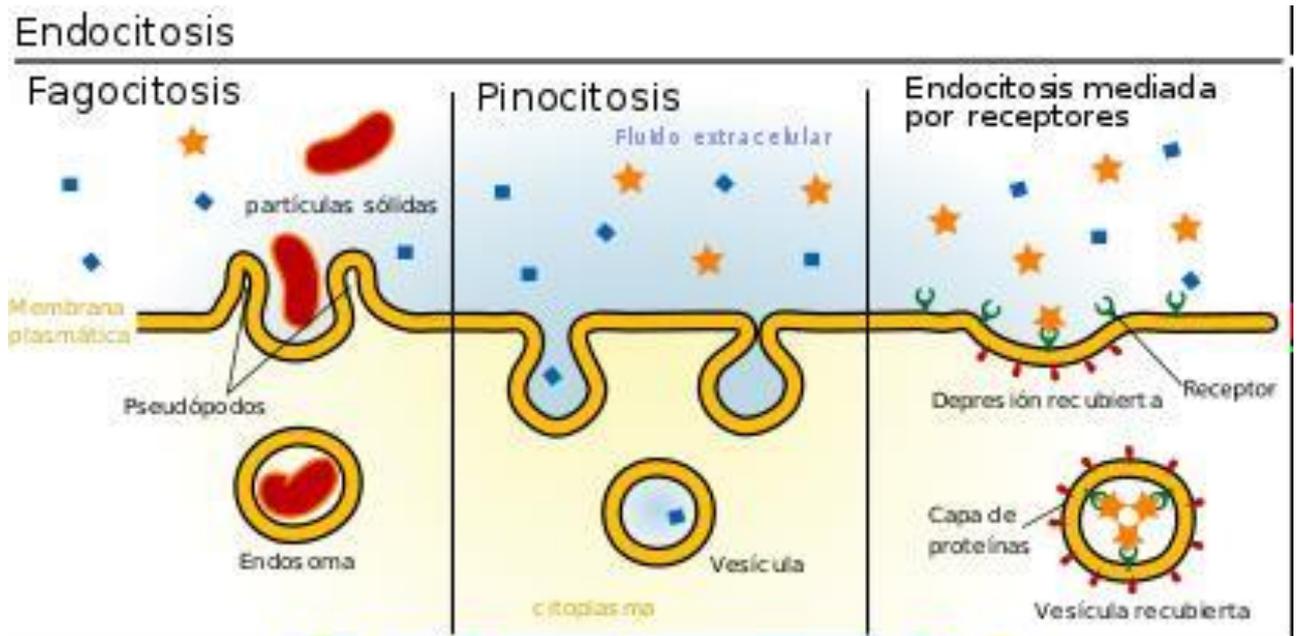


f. **Transporte en masa o vesicular:** Este proceso consiste en el transporte masivo de moléculas, ya sean de gran tamaño o incluso microorganismos o fragmentos celulares, en el cual una porción de la misma membrana forma una vacuola en la que el material queda contenido y luego transportado. Existen diferentes variaciones en este proceso:

- **Endocitosis y exocitosis:** Si el proceso facilita la entrada de sustancias se llama endocitosis (que puede estar mediada por receptores especiales que reconocen las sustancias a transportar), y si es la eliminación de sustancias se denomina exocitosis. En la exocitosis la vesícula formada en la célula termina fusionándose con la membrana externa vertiendo su contenido al exterior.



- **Fagocitosis:** “La célula come”. Es la incorporación de partículas grandes, como microorganismos o restos celulares desde el exterior hacia el interior, por un proceso de invaginación de la membrana celular. En los glóbulos blancos fagocitarios este es un proceso muy común que permite la eliminación de sustancias foráneas en las infecciones. Las vesículas fagocitarias luego pueden unirse a un lisosoma para degradar las sustancias fagocitadas.
- **Pinocitosis:** “La célula bebe”. En un proceso similar a la fagocitosis, la membrana celular se pliega invaginándose y formando una vacuola con líquido extracelular que se incorpora a la célula.



Unidad III: Estructura celular II

El Citoplasma

Todas las células están delimitadas por la membrana plasmática, por dentro de la membrana se encuentra el citoplasma, que contiene en su interior pequeñas estructuras llamadas organelas u órganos pequeños. En el centro se encuentra una estructura redonda o esférica, el núcleo.

Su composición química consiste principalmente de agua más proteínas, carbohidratos, lípidos y sustancias inorgánicas. Estas sustancias químicas están en solución o en forma coloidal (suspendidas).

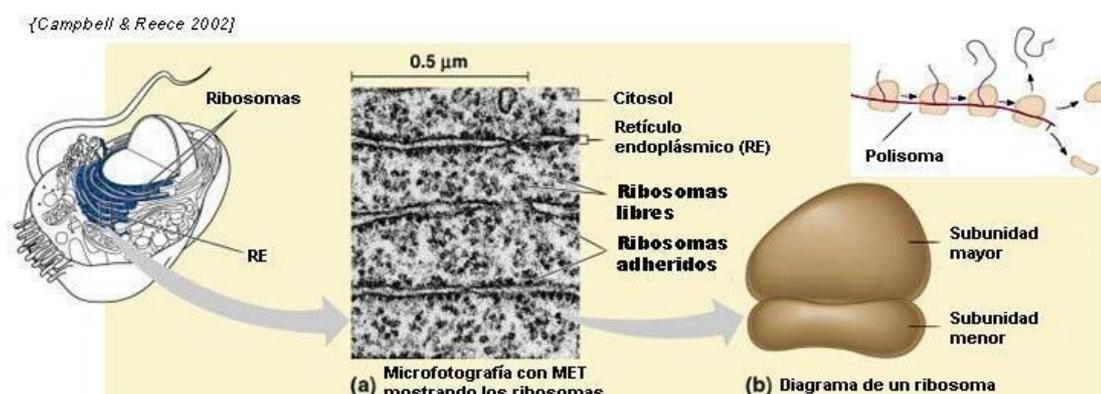
El citosol es el medio acuoso en el cual se desarrollan las reacciones químicas importantes del citoplasma (por ejemplo, relacionadas con la conversión de energía química o la biosíntesis).

El núcleo y los ribosomas

El núcleo se tratará con detalle en la siguiente unidad, sin embargo, siendo el organelo más importante (por su papel regulando las actividades y vida de la célula), solo destacamos ahora su relación estrecha con los ribosomas. Los ribosomas usan la información del ADN contenido en el núcleo para fabricar las proteínas. El proceso de traducción genética para sintetizar las proteínas se describe en la siguiente unidad.

Ribosomas

Estos organelos están hechos de ARN ribosómico (ARNr) y proteínas, y son las fábricas que sintetizan las proteínas. Cada uno está formado de dos subunidades (una mayor y otra menor). Pueden estar libres (aislados o en grupos llamados polirribosomas) o unidos al retículo endoplásmico (RE, lo que le da un aspecto rugoso, de ahí su nombre). Los ribosomas se sintetizan a partir del ADN en el núcleo y se procesan con proteínas en el nucleolo para formar las dos subunidades, que luego pasarán por los poros de la membrana nuclear para terminar en su lugar apropiado en el citoplasma.



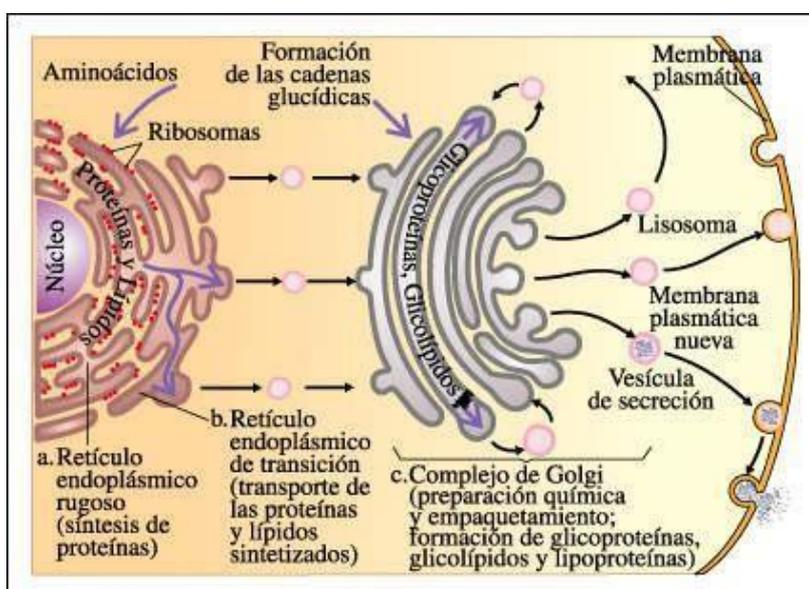
Esta figura muestra una fotografía con microscopio electrónico de un corte de tejido pancreático. Allí se pueden observar (a) los ribosomas como muy pequeñas partículas (alrededor de 300Å), algunas libres en el citosol, y otras unidas a membranas del retículo endoplásmico (RE rugoso). En la ilustración de la izquierda se muestra la disposición general del RE rugoso, relativamente cercano al núcleo (facilitando su comunicación de la información necesaria para la síntesis de proteínas). Mientras que la ilustración (b) es un diagrama de las dos subunidades que forman un ribosoma típico. En las células eucariotas las subunidades se denominan 60S (la mayor) y 40S (la menor), donde S es la velocidad de sedimentación durante la centrifugación.

Polirribosomas

Como durante la síntesis de proteínas los ribosomas se unen a moléculas lineales de ARN mensajero (ARNm), varios ribosomas se pueden unir a una molécula de ARNm al mismo tiempo, formando un tipo de cadena de ribosomas, los polirribosomas o polisomas (como en la ilustración anterior). De esta manera, la información transcrita del ADN a los ARNm, se traduce en el citoplasma entre los ribosomas y los ARN de transferencia, que traen los aminoácidos a los ribosomas, para formar las cadenas polipeptídicas que resultarán en proteínas para uso en la célula y para exportar al exterior. Por ejemplo, en el caso de la ilustración del páncreas, se fabrican proteínas de secreción como la insulina y varias enzimas digestivas.

Sistema de endomembranas

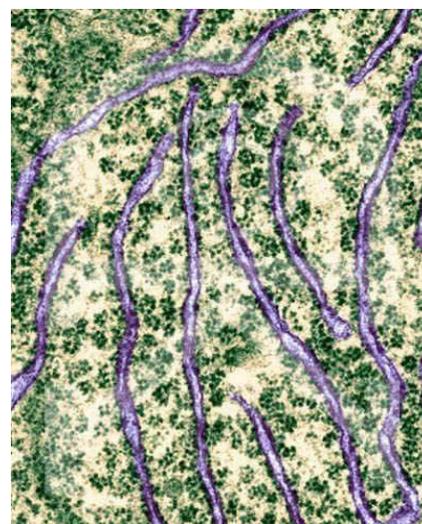
Las células eucariotas poseen sistemas membranosos internos que las dividen en compartimientos. Estos compartimientos son funcionalmente distintos, y se encuentran físicamente separados, pero funcionalmente interconectados. Estos compartimientos u organelas constituyen el sistema de endomembranas: vacuolas y vesículas, retículo endoplásmico, complejo de Golgi.



Como se observa en esta figura, el sistema de endomembranas incluye la cubierta nuclear, el retículo endoplásmico (RE rugoso cuando tiene adheridos los ribosomas y liso cuando no los tiene), el complejo de Golgi, los lisosomas, y una variedad de vacuolas (vesículas que contienen diversas sustancias). Hacia la periferia se encuentra la membrana plasmática que, aunque no es parte del sistema de endomembranas, funcionalmente, como se puede ver, está íntimamente relacionada con ellas. Todos los sistemas de membranas proveen compartimentos en la célula para el desarrollo de procesos importantes, y a su vez mecanismos de transporte para mover sustancias en la célula.

Retículo endoplásmico rugoso

El retículo endoplásmico (RE) es una red tridimensional de tubos y sacos que limitan cavidades comunicadas entre sí (Lat. *reticulum*: pequeña red; endoplásmico: dentro del citoplasma). Los sacos se llaman cisternas (Lat. Cisterna: un reservorio de líquido), y en estas cavidades y reservorios circulan sustancias que no se vierten al citosol. Existen dos tipos de **RE: el rugoso granular**, que se denomina así por tener ribosomas adheridos a sus membranas (lo que le da ese aspecto en las microfotografías, como a la derecha). El segundo es el **RE liso o agranular**, que carece de ribosomas.



En el RE rugoso, sus membranas forman una serie de sacos aplanados y vesículas conectados entre sí, y están recubiertas de ribosomas y polirribosomas (verdes en la microfotografía, las membranas del RE en violeta) en la cara que da hacia el citosol.

El RE rugoso a través de sus ribosomas fabrica proteínas, tanto para su secreción al exterior (por ejemplo, una enzima digestiva), o para alguna función digestiva en la célula (como enzimas en los lisosomas) y por tanto quedan encerradas en vesículas membranosas, o proteínas de las membranas. La mayoría de las proteínas de secreción son glucoproteínas. El RE rugoso se encarga de la síntesis de glucoproteínas, mediante la adición de oligosacáridos a las proteínas fabricadas por los ribosomas. Además de su función en la síntesis de proteínas y glucoproteínas, el RE rugoso es una fábrica de membranas. También fabrica sus propios fosfolípidos con enzimas adheridas a sus membranas.

Una vez fabricadas y procesadas, las proteínas de secreción sintetizadas por el RE rugoso, encerradas en **vesículas de transporte**, que “brotan” de la región externa del RE rugoso, y se dirigen hacia el complejo de Golgi para finalizar el procesamiento y empaquetamiento de las proteínas.

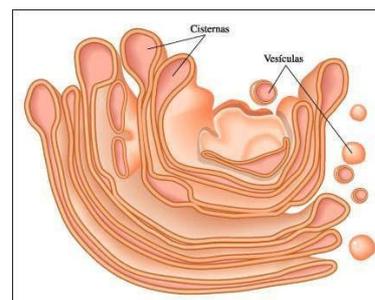
Retículo endoplasmático liso

También una red de sacos y tubos aplanados como el RE rugoso, este RE sin ribosomas tiene varias funciones metabólicas, de almacenamiento y de bio-síntesis. De acuerdo con la función de las células, estas membranas pueden tener una concentración de enzimas particulares relacionadas a esa función específica.

El RE liso sintetiza varios tipos de lípidos: ácidos grasos, esteroides y fosfolípidos. Estas moléculas permanecen en vesículas para ser transportadas al complejo de Golgi. Se encarga de la detoxificación de sustancias provenientes del exterior, tal como drogas, medicamentos, pesticidas, etc., anulando la actividad de esas sustancias, y contribuyendo a su excreción. En las células musculares estriadas, el RE liso juega un papel importante en la contracción muscular, al regular la presencia del ion calcio en el citoplasma de la célula. Ahí el RE liso recibe el nombre especial de retículo sarcoplásmico.

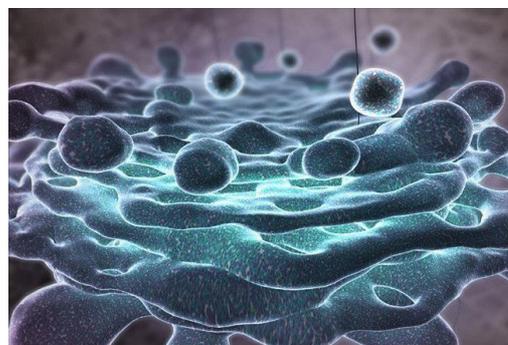
Aparato de Golgi

Otro sistema de cisternas aplanadas con bordes dilatados (generalmente entre 4 y 8 sacos apilados) dispuestos concéntricamente y reciben el nombre de dictiosomas (figura de la derecha, Curtis 2000). De acuerdo con la función de la célula varía el número de estos dictiosomas (entre 20 y miles).



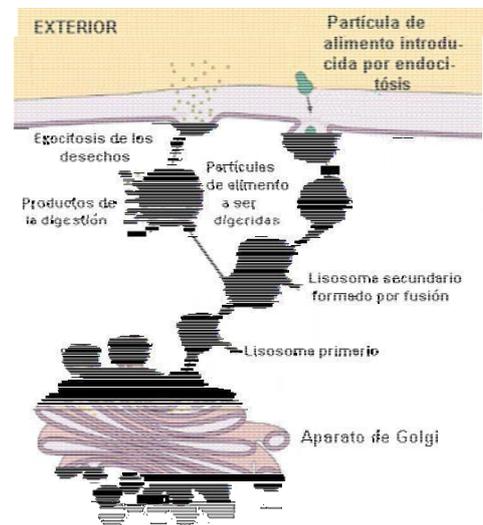
En la región proximal al RE está preparado para recibir vesículas de transporte que se fusionan con sus sacos “cis” y vierten las glucoproteínas y lípidos para su procesamiento. De allí pasan a una región intermedia (por brotación y fusión de vesículas), y de allí, y por el mismo proceso a la tercera porción (región “trans” hacia la periferia de la célula). En la última sección, se terminan de procesar las proteínas, se clasifican y empaquetan según su destino, y se van liberando nuevas vesículas de transporte: como lisosomas primarios (con enzimas hidrolíticas) que permanecen en la célula; vacuolas de secreción (con glucoproteínas, lípidos o lipoproteínas) que expulsarán su contenido al exterior de la célula por exocitosis; y vesículas que se fusionan con la membrana plasmática contribuyendo nueva membrana a la misma.

En la imagen a la derecha (de la animación de Harvard University “La vida interior de la célula”, 2007), se ve un complejo de Golgi y las vesículas secretadas (hacia arriba) que emprenden su camino hacia su destino final. Además, el aparato de Golgi sintetiza oligosacáridos importantes en la estructura de ciertas células (por ej. células vegetales).



Lisosomas

Son vesículas (~0,5µm) en cuyo interior pueden contener cerca de 40 tipos diferentes de enzimas hidrolíticas (digestivas) para la degradación de diversas sustancias (por ej. enzimas digestivas como las lipasas, degradan lípidos, o las nucleasas que hidrolizan los ácidos nucleicos). Todos los lisosomas (como se ve en la ilustración a la derecha) se originan de las regiones “trans” del aparato de Golgi, y cuando están listos para entrar en actividad se denominan lisosomas primarios, que al unirse a una vacuola endocítica (contiene una sustancia para degradar introducida a la célula por endocitosis), comienza su acción hidro-lítica por lo que se denomina lisosoma



secundario o vacuola digestiva. Los productos de desecho pueden reciclarse, permanecer en la célula como residuos, o eliminarse al exterior de la célula por exocitosis. A través de su acción enzimática los lisosomas contribuyen en varias funciones celulares, tales como en la defensa (glóbulos blancos fagocitan bacterias y hay que degradarlas), destrucción de proteínas extracelulares dañadas, degradan sustancias orgánicas de la misma célula para reciclarlas (autofagia), remodelación de tejidos (tejido embrionario).

Peroxisomas

Vesículas metabólicas especializadas muy pequeñas (~1µm) rodeadas por una membrana, que contienen enzimas (oxidases) que transfieren hidrógeno de varias sustancias al oxígeno, para producir peróxido de hidrógeno (agua oxigenada, H₂O₂). El peróxido puede ser tóxico en la célula, por lo cual los peroxisomas contienen además la enzima catalasa que lo convierte en agua. Algunas de estas reacciones son muy importantes, como por ejemplo la degradación de ácidos grasos para usar los productos en la respiración celular, o la destoxicación del alcohol en el hígado.

Vacuolas

Vesículas membranosas de mayor tamaño, en general su función en la célula es almacenamiento: por ejemplo, vacuolas alimenticias resultado de la fagocitosis (que luego podrían unirse a lisosomas primarios para la degradación de su contenido); la vacuola central de células vegetales (ocupa entre 80-90% de la célula) rodeada por una membrana semipermeable llamada tonoplasto, y contribuye a mantener la turgencia de la célula. Muchas vacuolas almacenan una variedad de sustancias especiales, tales como reservas energéticas, iones inorgánicos, pigmentos, sustancias tóxicas para otros organismos y sustancias de desecho de la misma célula, entre otros.

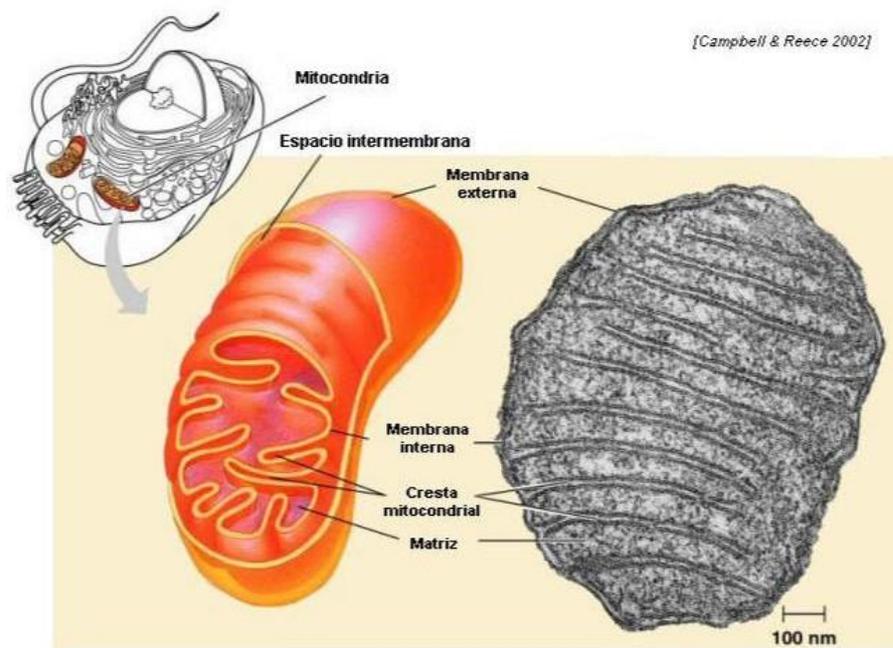
Otros organelos membranosos

Muy importantes en la transformación de la energía con la que viven las células eucariotas, las mitocondrias y los cloroplastos, son los organelos que hacen posible estas reacciones. Como en última instancia dependemos de la energía del sol, los cloroplastos (solo en las plantas y algas) son los organelos donde por medio de la fotosíntesis se usa la energía solar para la biosíntesis de glúcidos, moléculas ricas en energía. En los organismos consumidores, que no desarrollan la fotosíntesis, la energía se obtiene a través de la alimentación y el metabolismo de esas sustancias alimenticias. Sustancias ricas en energía pueden catabolizarse en las mitocondrias para generar energía química que sea utilizable en las actividades celulares que requieren energía.

Mitocondrias

Son las verdaderas “usinas” de la célula, proveyendo la energía química para el trabajo celular. El proceso se denomina respiración celular, un proceso de catabolismo que genera adenosín trifosfato (el nucleótido ATP), la sustancia química energética por excelencia de la célula. Una mitocondria típica es cilíndrica u ovoide ($\sim 1 \times 3 \mu\text{m}$), aunque su forma y tamaño pueden variar durante su existencia, y están formadas por dos membranas que delimitan compartimentos especializados dentro de la mitocondria. Una membrana externa y una membrana interna que tiene pliegues llamados crestas mitocondriales. Entre las dos membranas se encuentra el espacio intermembrana, y las crestas delimitan la matriz o espacio interno de la mitocondria. Las crestas mitocondriales aumentan la superficie de la membrana interna cinco veces con respecto a la externa.

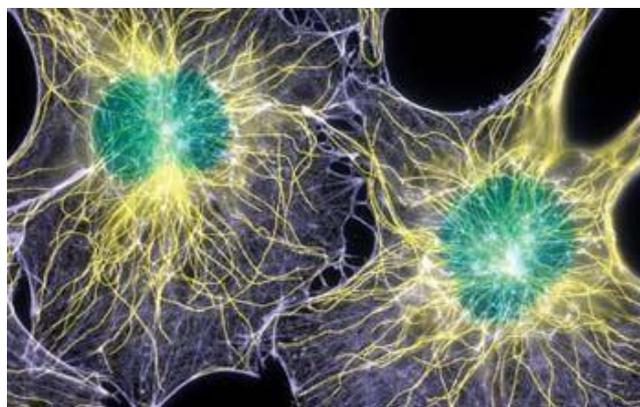
Ambas membranas son bicapas fosfolipídicas, aunque la membrana interna no posee colesterol y contiene una serie de proteínas especializadas para la respiración celular, entre ellas la enzima ATP sintetasa (que fabrica el ATP) que forma parte del “conjunto respiratorio” que desarrolla la fosforilación oxidativa en las crestas. La matriz mitocondrial contiene más de 100 tipos diferentes de enzimas, proteínas, iones, nucleótidos, el ADN mitocondrial (para la síntesis de algunas proteínas, mientras la mayoría de las proteínas mitocondriales se sintetizan en el citoplasma, y la división binaria de las mitocondrias), 13 tipos de ARNm, 22 tipos de ARNt, dos tipos de ARNr (tipo procariota).



A través de los procesos de respiración celular (que comienzan en el citoplasma), y con el oxígeno que respiramos, la mitocondria extrae energía de moléculas como azúcares, lípidos y otros combustibles para generar ATP. Se estudiará este proceso con más detalle en la unidad 5.

El citoesqueleto

El citoesqueleto provee a la célula de apoyo estructural, medios de movilidad y transporte, y control de varios procesos.



En esta extraordinaria microfotografía (sacada por Wittmann, y que le valió el 1er. Premio del Nikon Small World Competition en el 2003) se pueden observar lo que hasta hace muy poco no se podía: una serie de filamentos que forman una trama tridimensional en la célula. En estas dos células (y con técnicas especiales de marcado de moléculas de proteína) el núcleo se ve prominentemente en color verde/azul, en amarillo filamentos más gruesos, los microtúbulos extendiéndose desde el núcleo a la periferia, y los mucho más delgados filamentos de actina (en color violeta). Estos dos, más los filamentos intermedios, son las estructuras básicas del citoesqueleto de las células.

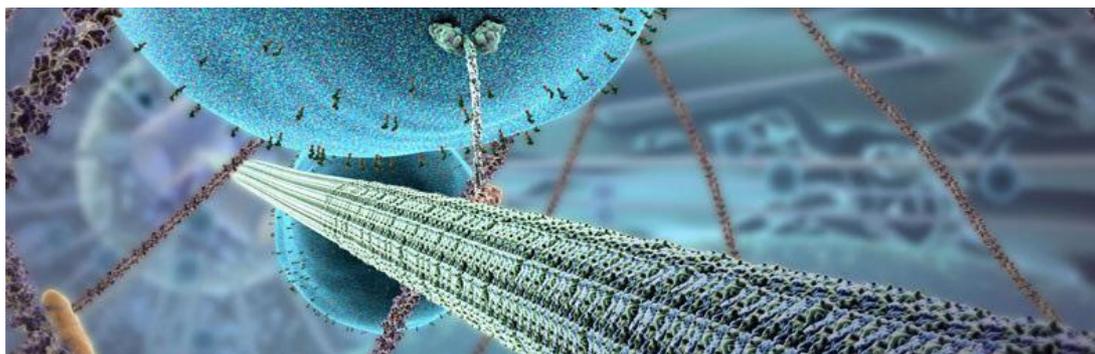
La Tabla 1 detalla las propiedades de los tres tipos de componentes el citoesqueleto: los microtúbulos, los filamentos intermedios y los microfilamentos (o filamentos de actina). Esta figura (Curtis 2000) ilustra gráficamente la estructura de los tres tipos de filamentos del citoesqueleto.

Tabla 1. Estructura y función del citoesqueleto			
Propiedad	Microtúbulos	Filamentos intermedios	Microfilamentos (actina)
Estructura	Tubos huecos; paredes consisten de 13 columnas de moléculas de tubulina	Proteínas fibrosas enrolladas para formar cables más gruesos	Dos cadenas enrolladas de actina
Diámetro	25nm, luz de 10-15nm	8-12nm	7nm
Subunidades proteicas	Tubulina: alfa y beta-tubulina	Una de varias proteínas de la familia de la queratina	Actina
Funciones principales	Mantienen la forma celular Estructura de cilios y flagelos Estructura de centriolos Movilidad celular: a través de cilios y flagelos Movimiento de cromosomas en la división celular (a través del huso mitótico) Movimiento de organelos Vías para el movimiento de vesículas transportadoras	Mantienen forma celular Anclaje del núcleo y otros organelos Formación de la lámina nuclear Tonofilamentos en células epiteliales Impermeabilización en células escamosas (piel) Neurofilamentos en células nerviosas (transporte axonal)	Mantienen la forma celular Cambios de la forma celular Contracción muscular (actina/miosina) Corrientes citoplasmáticas Locomoción ameboidal, por la emisión de pseudópodos División celular, en la citocinesis



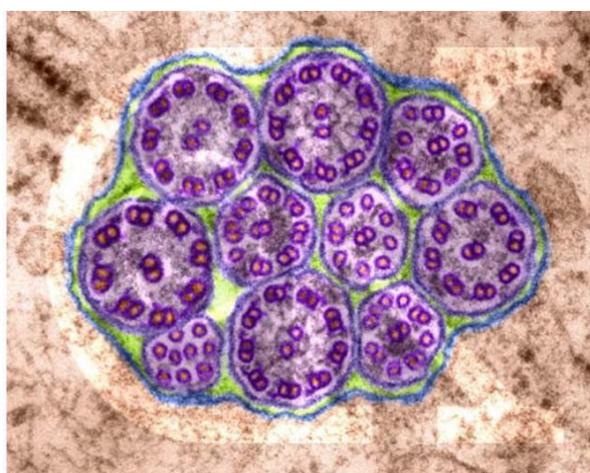
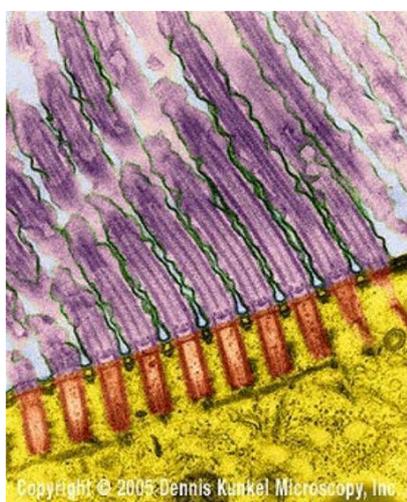
Microtúbulos

Como se detalla en la tabla, los microtúbulos cumplen diversas funciones en la célula y formando estructuras celulares especializadas, como los centríolos, los flagelos y los cilios. Al funcionar como vías para la movilización de organelos, los microtúbulos son como “caminos” por los cuales proteínas motoras como la kinesina (filamento vertical con “brazos” y “pies” que tiene adherida una vesícula) pueden “arrastrar” vesículas transportadoras del RE rugoso llenas de proteínas y llevarlas hasta el aparato de Golgi, y luego de allí hasta la membrana plasmática (fantástica ilustración de la animación de Harvard University “La vida interior de la célula”, 2007). También se observan en la ilustración los más delgados filamentos de actina.

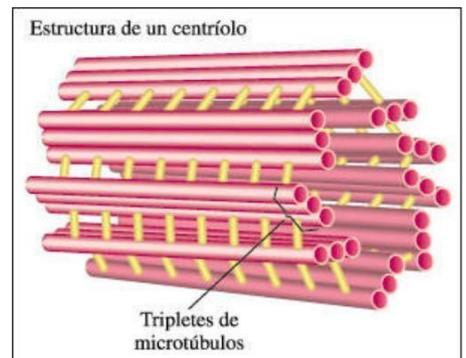


Los microtúbulos también forman estructuras complejas como los **flagelos y los cilios**. En arreglos de pares de microtúbulos interconectados con “brazos” de otras proteínas y con motores proteicos rotativos, los cilios y los flagelos se mueven para dar movilidad a la célula (por ejemplo, un espermatozoide).

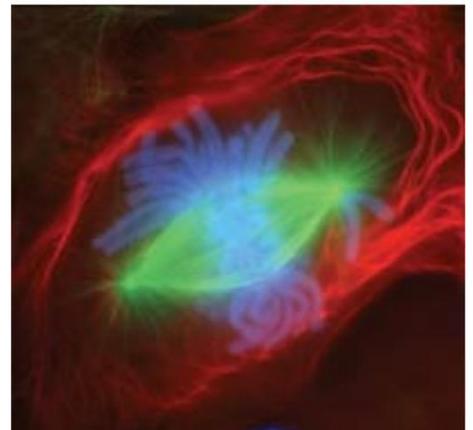
En las microfotografías (MET) que siguen se pueden apreciar (izq.) una serie de cilios (coloreados artificialmente de violeta) donde se ven en el corte longitudinal los microtúbulos que los forman (los centrales y los de la periferia), que a la derecha (en corte transversal) se ven dispuestos como 9 pares rodeando un par central. En las bacterias los flagelos son huecos.



El **centrosoma** de la célula es el centro del cual se forman los microtúbulos esenciales en la división celular. En las células animales está compuesto por dos centriolos (las plantas no tienen) dispuestos perpendicularmente uno de otro. Cada uno está compuesto por 9 juegos de tripletes de microtúbulos arreglados en un círculo y mantenidos por proteínas conectoras.

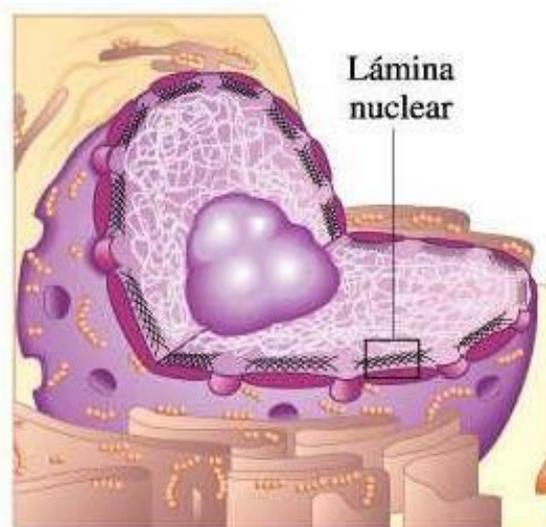


De estas estructuras se forman los microtúbulos del **huso mitótico** como se puede ver en la siguiente microfotografía de una célula de la mosca de la fruta *Drosophila*. Los microtúbulos del huso acromático (en verde) se proyectan desde los centriolos, uno a cada lado de la célula y se unen a los centrómeros de los cromosomas (azul) para moverlos durante la división celular. Tanto los microtúbulos como los microfilamentos tienen polaridad y de esa manera pueden alargarse y acortarse rápidamente mediante la adición o eliminación de las subunidades componentes.



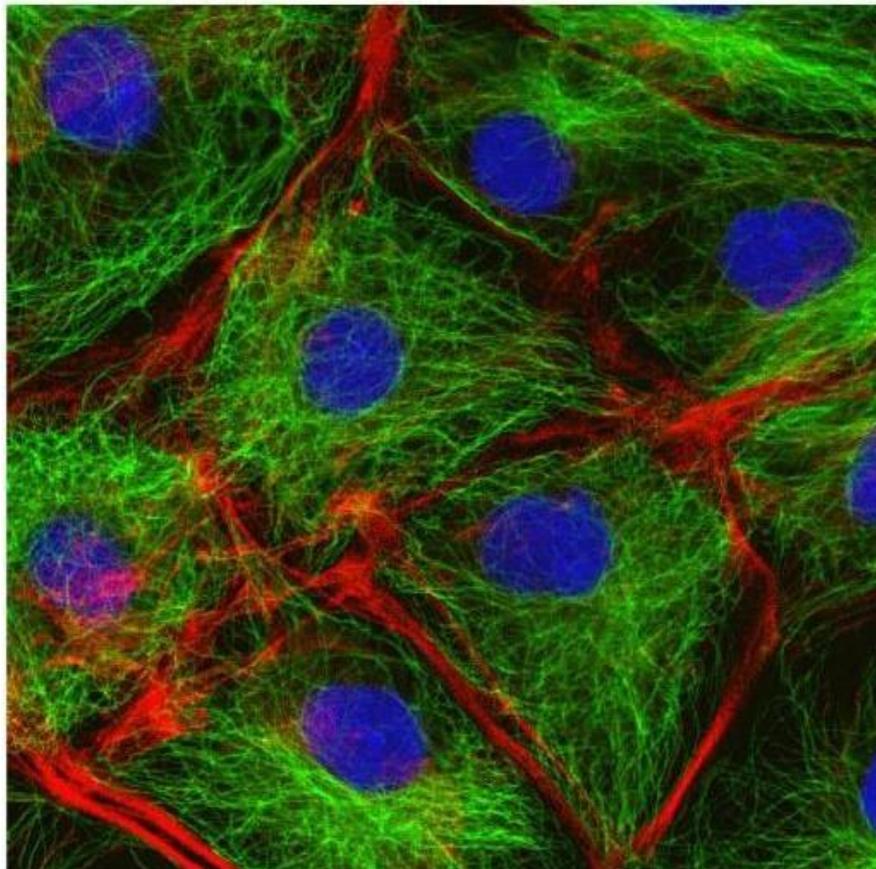
Filamentos intermedios

Hechos de proteínas fibrosas los filamentos intermedios cumplen varias funciones de soporte estructural, como por ejemplo la formación de la **lámina nuclear** en el interior del núcleo, que le da rigidez a la membrana del núcleo.



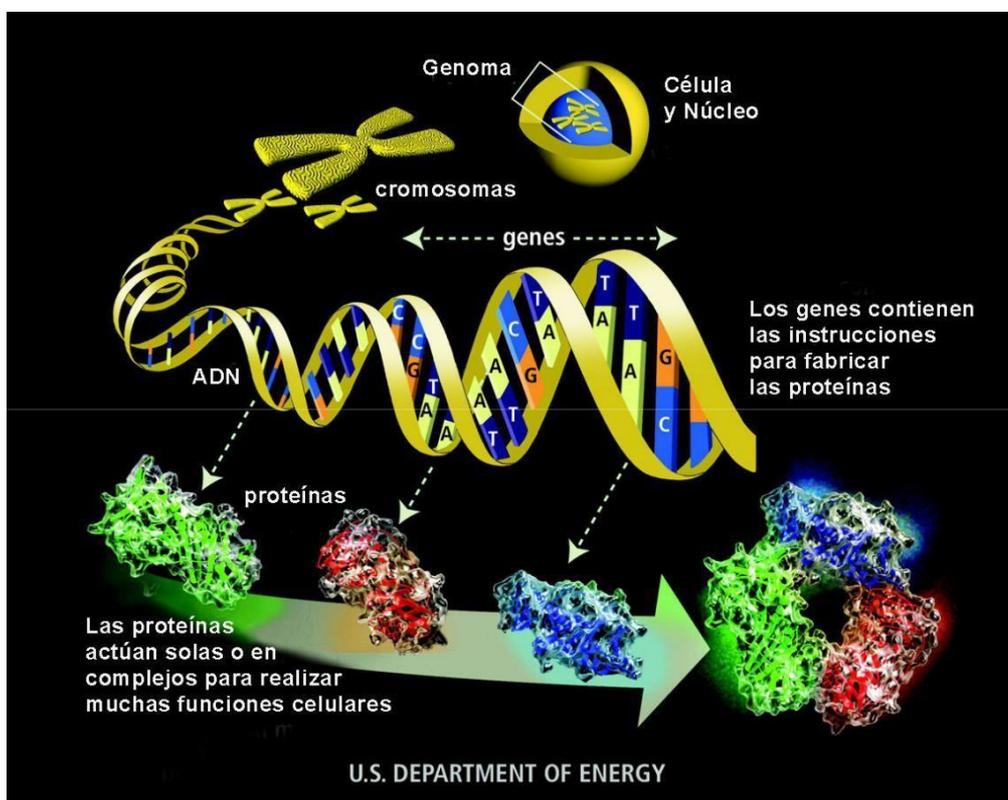
Microfilamentos (Filamentos de actina)

Entre las funciones de los microfilamentos (ver Tabla 1), está la formación de una red bidimensional sujeta por debajo de la membrana plasmática de las células. En la siguiente microfotografía se pueden ver los filamentos de actina (rojo) concentrados debajo de la membrana plasmática, mientras los microtúbulos (verde) se extienden desde el núcleo (azul) hacia la periferia (Fotografía de M. Shipman, J. Blyth y L. Cramer, Laboratory for Molecular Cell Biology, University College London, UK).



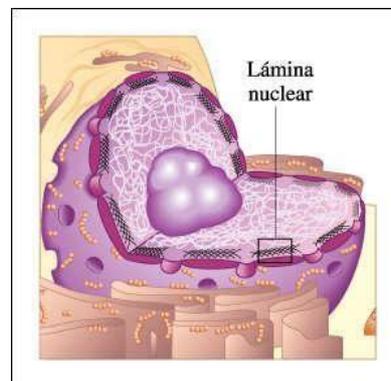
Unidad IV: El núcleo

El núcleo es el centro de control de las actividades celulares, y para ello cuenta con el material genético o hereditario, el ADN, en el que reside la información para la síntesis de proteínas, y el que regula la propia replicación y la división celular. El núcleo es propio de las células eucariotas y contiene la mayoría de los genes organizados a lo largo de la molécula de ADN y formando los cromosomas. El conjunto de material genético se denomina genoma, que en el ser humano consiste en 23 pares de cromosomas. El código genético, contenido en los genes, es la información necesaria para fabricar las proteínas, las cuales cumplen las diferentes funciones celulares.



Estructura del núcleo interfásico

Durante la interfase (etapa del ciclo vital de la célula cuando ésta no se está dividiendo), el núcleo aparece como un organelo generalmente esférico, delimitado por una envoltura nuclear, en la que se aprecian una cantidad de poros. Su tamaño depende del tamaño de la célula. En ciertas células puede haber dos o más núcleos. Dentro del núcleo está el ADN, organizado junto a proteínas en forma de un material fibroso llamado cromatina. Cuando la célula se prepara para dividirse, las delgadas hebras de cromatina se enrollan para formar



estructuras visibles al microscopio óptico: los cromosomas. En el núcleo interfásico también existe una masa irregular de gránulos y cromatina, bastante prominente, el nucleolo, donde se sintetiza el ARN ribosómico. Las estructuras intranucleares se hallan suspendidas en un coloide denominado carioplasma o nucleoplasma.

Cuando la célula entra en la etapa de división, el núcleo pierde esta organización: se desintegra la membrana nuclear, el nucleolo desaparece, y la cromatina se condensa para formar los cromosomas.

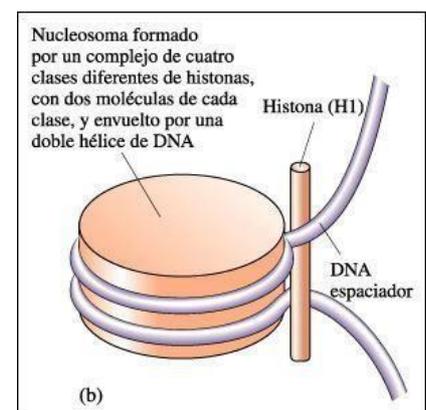
Envoltura nuclear: características y funciones

La envoltura nuclear es doble: consiste en dos membranas (interna y externa), cada una bicapa fosfolípida con sus proteínas membrana y separadas por un espacio intermembrana. A lo largo de su superficie existen poros de unos 100nm de diámetro, formados por un complejo de proteínas, por los cuales pueden salir y entrar moléculas de gran tamaño (por ej. los ARN y enzimas). Las dos membranas se fusionan alrededor de los poros. Filamentos intermedios del citoesqueleto forman una lámina nuclear del lado del interior el núcleo que ayudan a mantener la forma del núcleo (figura más arriba), y además interactúa con la cromatina.

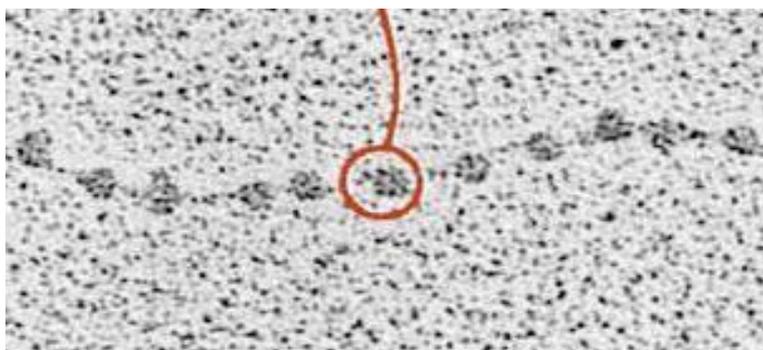
Cromatina y cromosomas

Durante la interfase, el ADN se encuentra en la forma de finos filamentos sin una forma definida, denominado cromatina. El ADN no está completamente desenrollado en forma de un filamento simple y largo, sino que está organizado en varios niveles de empaquetamiento junto a proteínas.

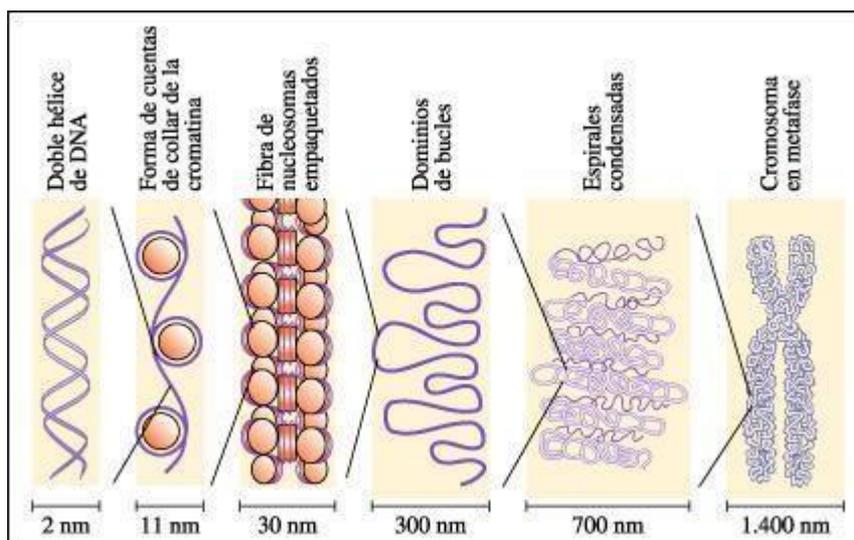
- Composición química:** La cromatina consiste en ADN y proteínas. Algunas proteínas (llamadas histonas) participan en la organización de la cromatina y de los cromosomas, mientras otras (varios tipos de enzimas) desarrollan diversas funciones relacionadas con el ADN (por ej. su replicación o síntesis de ARN).
- Características:** Típicamente la cromatina en interfase presenta un aspecto no muy condensado, pero con varios niveles de organización, y se denomina **euromatina** (“verdadera cromatina”, a diferencia de algunas porciones de ciertos cromosomas que se ven bastante condensados, y que se denomina **heterocromatina**).



Organización: Mientras el ADN en interfase realiza sus funciones de síntesis de ARN (transcripción genética) que conducirá a la síntesis de proteínas en el citoplasma, la cromatina presenta un nivel de empaquetamiento bastante condensado, la etapa de 300nm de espesor. Como se aprecia en la ilustración (Curtis 2000), la molécula helicoidal de ADN se ha enrollado alrededor de histonas, para formar primero complejos llamados **nucleosomas** a lo largo de la molécula de ADN, que le da a la hebra un aspecto de "cuentas de collar" (microfotografía, Curtis 2000). Las "cuentas" (una circulada en rojo en la imagen), son los nucleosomas a lo largo del ADN.



Como se observa en la ilustración abajo (Curtis 2000), los nucleosomas se siguen enrollando para formar una fibra de 30nm de espesor y luego a través de pliegues como bucles, la cromatina alcanza su grado de organización definitiva (diámetro de 300nm). A pesar de su empaquetamiento la cromatina permanece suficientemente flexible como para que la molécula de ADN pueda replicarse o transcribir las moléculas de ARN necesarias.



Durante la fase S de la interfase, cada fibra de cromatina se duplica (replicación del ADN)

y permanecen unidas por una zona llamada **centrómero**. En preparación para la subsecuente división celular las fibras de cromatina se condensan aún más para formar estructuras de 700nm de diámetro llamadas **cromátidas**. Las dos cromátidas, unidas por el centrómero, se denominan cromosoma (en realidad un cromosoma doble, que luego se dividirá en los dos cromosomas hijos), y tiene la típica forma de una X. En los humanos existen 46 cromosomas, o 23 pares de cromosomas homólogos (los dos miembros del par), y de aproximadamente 4 y 6 μm de longitud. Los centrómeros dividen las cromátidas en brazos y de acuerdo con su longitud permiten clasificar los cromosomas, que en su conjunto determinan el **cariotipo** de la especie.

En la siguiente ilustración de fotografías de cromosomas, se muestran todos los cromosomas del cariotipo humano (se han coloreado artificialmente para poder identificarlos y ordenarlos en pares). A ver si puedes determinar de qué sexo es la persona:



De hecho, en el ser humano existen 23 pares de cromosomas, de los cuales 22 pares son autosomas y el otro par consiste de los cromosomas sexuales, que se denominan X e Y. Una mujer normal tiene dos cromosomas X, y en el hombre un cromosoma X y uno Y.

c. **Funciones:** Como ya se ha ido mencionando, las funciones del ADN (en la interfase formando la cromatina) tienen que ver con la transferencia de información genética, y constituyen lo que se conoce con el nombre de “dogma genético”: la replicación, la transcripción, y la traducción:

- dirigir su replicación (autoduplicación), para transmitir la información genética a las células hijas,
- dirigir la síntesis de diferentes moléculas de ARN: ARNm (mensajero), el ARNt (transferencia) y el ARNr (ribosómico). Estos ARN participan en:
- síntesis de proteínas, en el citoplasma, por lo cual el ADN organiza y dirige el funcionamiento de la célula.

Nucléolo: composición y función

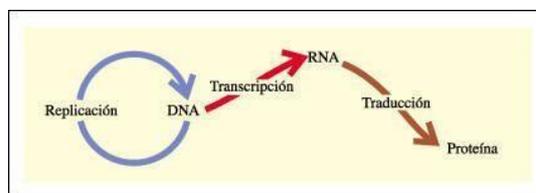
Es un cuerpo esférico de material fibrilar denso en la zona central rodeado por una zona granular, que están rodeados por cromatina. Está compuesto principalmente por ARN precursores del ARN ribosómico y por la cromatina asociada, que tiene las porciones de ADN con la información genética para la síntesis de esos ARN.

En el nucleolo se sintetizan y arman las subunidades de los ARN ribosómicos, que luego saldrán por los poros del núcleo para realizar la síntesis de proteínas. El nucleolo se desintegra durante la división celular, pero luego se vuelve a armar gracias a la cromatina organizadora.

ADN

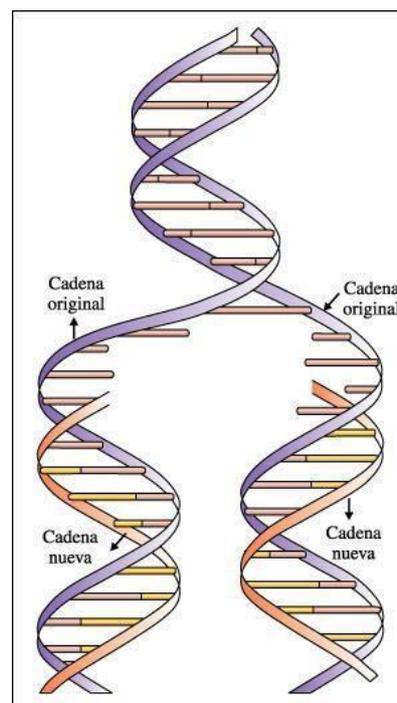
Como ya vimos en la Unidad 1, los ácidos nucleicos y en particular el ADN, son la base molecular de la información hereditaria que se transmite de generación en generación para posibilitar la vida de las células (y organismos).

A continuación, se tratarán estos tres aspectos funcionales del material genético que expresamos como el “dogma genético”: la *replicación*, la *transcripción* y la *traducción* del ADN.



Replicación (Duplicación)

Como es natural imaginarse, si la información genética para las actividades de la célula está contenida en el ADN, esta información debería poder transmitirse de célula a célula a través de las generaciones (no solo en las células, sino además al nivel de la reproducción de individuos). Para esto, el ADN debe replicarse, para poder formar parte de dos células hijas. La propia estructura del ADN, de una molécula helicoidal doble, hace posible este proceso, en el que las dos hebras de la molécula, al separarse momentáneamente funcionan como “plantillas” o “moldes” para la formación de hebras complementarias (como se ilustra en la figura de la derecha, Curtis 2000). Por esto se dice que el modelo de replicación es **semiconservativo**, es decir, las nuevas moléculas de ADN consisten en una mitad del ADN original y una mitad recién polimerizada (copia).



Durante la replicación del ADN (en figura a la derecha, Curtis 2000), varias enzimas (como una docena) y otras proteínas se encargan de desenrollar la molécula de ADN (en forma de cromatina bastante condensada) sin perder su organización general, cortar los

puentes de unión entre las dos moléculas de ADN, unir los nuevos nucleótidos (siempre a través de nucleótidos con bases complementarias: A-T, y C-G), revisar que no haya errores, y reparándolos si los hubo.

Una de las enzimas importantes en este proceso es la ADN polimerasa, que en efecto realiza la polimerización de los desoxirribonucleótidos (de adenina, timina, citosina y guanina) del ADN. La replicación de las moléculas se finaliza en las puntas donde se requiere un mecanismo especial para terminar el proceso. La energía para realizar todas estas reacciones la provee el ATP (aunque su azúcar es desoxirribosa y no ribosa) combinándose con los nucleótidos.

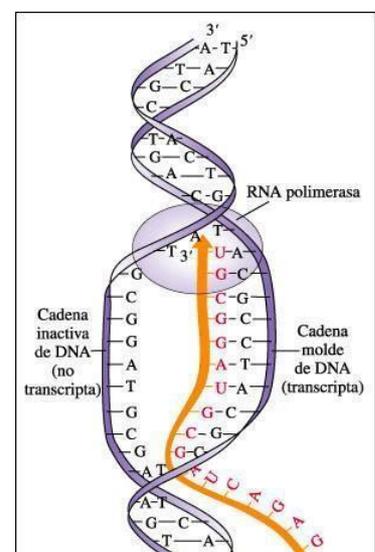
Considerando que los 46 cromosomas humanos representan alrededor de 6 billones (6 mil millones) de pares de bases (los peldaños de la molécula de ADN), y que la enzima ADN polimerasa (junto a las demás) construye las nuevas moléculas a razón de 50 nucleótidos por segundo, es fantástico que no se produzcan más que unos pocos errores (uno por billón de nucleótidos). El ADN polimerasa se encarga de revisar de que no haya errores y en caso de que los haya, otras enzimas cortan y pegan los nucleótidos corrigiendo los errores.

Transcripción

La *transcripción* es el proceso que resulta en la síntesis de moléculas de ARN. La transcripción y la traducción forman parte de la síntesis de proteínas. Es importante notar que lo que se está transcribiendo es un segmento de ADN con la información para construir una proteína. Esos segmentos se denominan *genes*. Como algunas proteínas están formadas por varias cadenas de polipéptidos donde cada una depende de un gen específico, podría decir que un gen es la información que codifica la construcción de una cadena polipeptídica, por lo que el modelo actual es: *un gen un polipéptido*

Como los genes están en el ADN del núcleo y la síntesis de proteínas la realizan los ribosomas en el citoplasma (o RE rugoso), se necesita un puente: Los ARN. El ARN está formado por una cadena simple de nucleótidos y a diferencia del ADN sus nucleótidos tienen el azúcar ribosa en lugar de desoxirribosa, y en la base nitrogenada el *uracilo* en lugar de la timina. En la transcripción la secuencia de nucleótidos de la molécula de ADN es transcripta o copiada al sintetizarse el ARN. De la misma manera en que el ADN funciona como una plantilla para la síntesis de nuevo ADN, funciona como una plantilla en la síntesis de los diferentes ARN

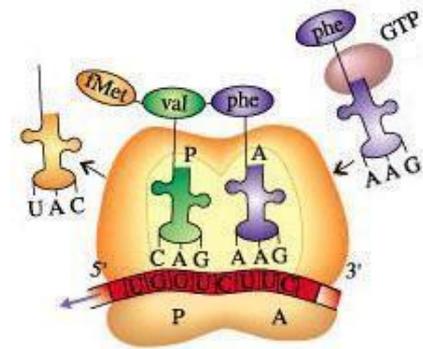
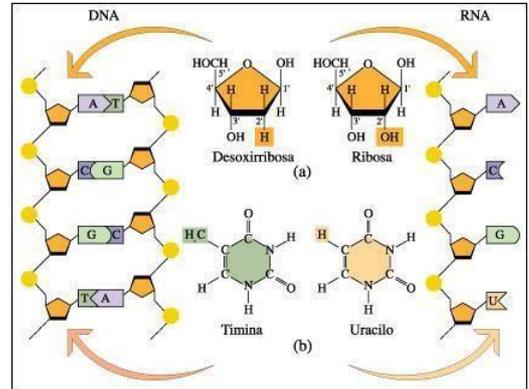
La enzima ARN polimerasa es la que realiza la transcripción, separando las dos mitades del ADN y uniendo los ribonucleótidos a la mitad transcripta (la que se “copia”). La cadena de ARN se alarga y al final se separa y el ADN se restaura a su forma original. En todo el proceso intervienen varios otros segmentos de ADN que actúan como reguladores, “prendiendo” o “apagando” la transcripción de los genes (que se denominan “estructurales”). También intervienen varios



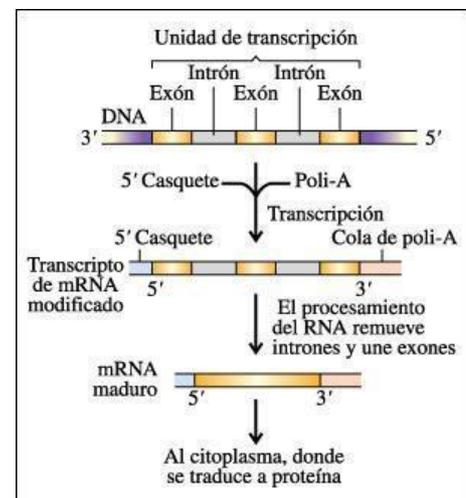
“factores” de transcripción, proteínas que, junto a promotores, operadores y terminadores, hacen posible la síntesis de los ARN.

Diferentes **ARNr (ribosómicos)** son filamentos sumamente plegados que posteriormente son procesados, algunos en el nucleolo, para formar las subunidades que luego se ensamblarán en el citoplasma para formar los ribosomas.

Los **ARNt (transferencia)** son fragmentos pequeños con una forma típica de “hoja de trébol” y típicamente de unos 80 nucleótidos. Existen como 45 diferentes ARNt, que se diferencian por los tres nucleótidos (triplete) en un extremo de la molécula, que se denominan “anticodón”. La ilustración a la derecha muestra tres ARNt con sus aminoácidos, transfiriéndolos al ribosoma (uno con anticodón UAC, ya se despegó y va en busca de otro aminoácido). La secuencia específica del anticodón hace posible que los diferentes ARNt, cada uno con un aminoácido específico de los 20 existentes, se unan al codón correspondiente en la molécula de ARNm (roja), en el ribosoma, determinando así la secuencia correcta de aminoácidos de la cadena polipeptídica.



El **ARNm (mensajero)**, de tamaño variable (según el polipéptido que codifique, aunque un ARNm puede codificar más de uno), se transcribe de un gen estructural con la información para sintetizar una proteína. Sin embargo, en el gen existen porciones que codifican (**exones**) para la síntesis polipeptídica y otras que no codifican (**intrones**). Durante el procesamiento del ARNm los intrones se eliminan y las regiones informativas (exones) se unen para formar la molécula definitiva de ARNm, que llevará ese código genético a los ribosomas para la síntesis de un polipéptido determinado.



Código genético

A esta altura sabemos que los genes de los cromosomas del núcleo codifican la síntesis de proteínas en el citoplasma. Como sabemos también que las proteínas son polipéptidos

que son cadenas de algunos de 20 aminoácidos existentes en la célula. Más arriba vimos que el ADN se transcribe para formar los diferentes ARN para la síntesis de las proteínas. Entonces, surge la pregunta: ¿Cómo el ADN especifica el número y secuencia de aminoácidos para la síntesis correcta de polipéptidos? El código genético es esa información, y radica en la secuencia de “**tripletes**” de nucleótidos a lo largo del ADN (por ejemplo, el triplete TAC). Estos tripletes especifican los aminoácidos y reciben el nombre de **codones** (en el ADN y luego en el ARNm). Como existen cuatro diferentes tipos de nucleótidos (A, T, C, G), las posibilidades de combinación para formar tripletes son 64 (es decir 4^3), y de esa manera hay suficientes codones para especificar cada uno de los 20 aminoácidos. Como es evidente varios codones diferentes pueden especificar el mismo aminoácido.

Como vimos anteriormente, el ARNm es el portador de esa información (el código genético) de un gen para sintetizar una proteína. El código genético se encuentra transcrito en una serie de codones (tripletes) a lo largo del ARNm. Cada codón del ARNm especificará un aminoácido determinado (algunos de los 64 significan detención o stop de la transcripción y el AUG tiene una función doble: porque significa inicio de transcripción, al comienzo de un gen, y también codifica el aminoácido metionina). Los investigadores han descifrado qué aminoácidos codifica cada uno de los codones, de tal manera que se puede usar una especie de “diccionario”, como en la siguiente ilustración (Curtis 2000), para determinar (“traducir”) la secuencia de aminoácidos de un gen (tanto del ADN, como de su ARNm transcripto).

		Segunda letra				
		U	C	A	G	
Primera letra (extremo 5')	U	UUU } phe UUC } UUA } leu UUG }	UCU } UCC } ser UCA } UCG }	UAU } tyr UAC } UAA detención UAG detención	UGU } cys UGC } UGA detención UGG trp	U C A G
	C	CUU } leu CUC } CUA } CUG }	CCU } CCC } pro CCA } CCG }	CAU } his CAC } CAA } CAG } gln	CGU } arg CGC } CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } AUC } ile AUA } AUG inicio met	ACU } ACC } thr ACA } ACG }	AAU } asn AAC } AAA } lys AAG }	AGU } ser AGC } AGA } arg AGG }	U C A G
	G	GUU } val GUC } GUA } GUG }	GCU } ala GCC } GCA } GCG }	GAU } asp GAC } GAA } glu GAG }	GGU } GGC } gly GGA } GGG }	U C A G
						Tercera letra (extremo 3')

Los codones del ARNm se “leen” (traducen) al construirse los polipéptidos en los ribosomas, cuando los

ARNt cada uno con su aminoácido determinado se unen por su extremo anticodón al codón complementario del ARNm. Esto resulta en la traducción del

código genético original, la información para la síntesis de una proteína específica. En esta

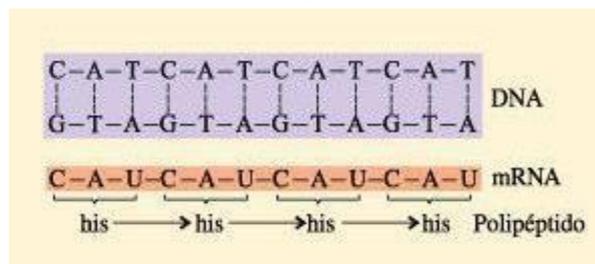
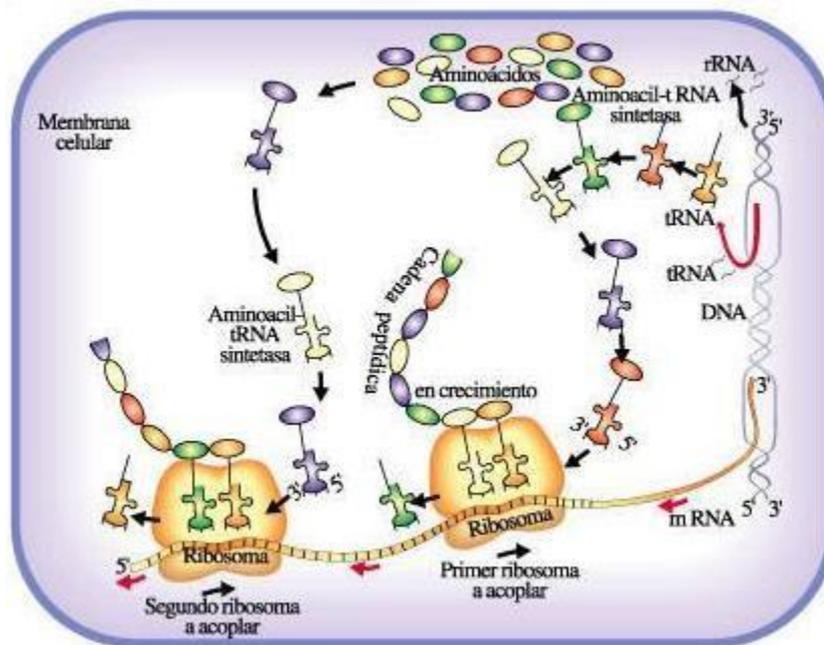


figura el “código genético” del ADN se “transcribe” para formar una molécula de ARNm con cuatro “codones”, que a su vez se “traducen” para fabricar un polipéptido de cuatro aminoácidos (en este caso cuatro moléculas de histidina).

Traducción: síntesis de las proteínas

En los párrafos anteriores vimos cómo la transcripción de los diferentes ARN (ribosómico, de transferencia y mensajero) sintetiza las moléculas necesarias para la fabricación de las proteínas. Recibe el nombre de **traducción**, porque como ya mencionamos, el código genético es traducido para especificar el número y la secuencia de los aminoácidos que se unirán para formar el polipéptido. La síntesis en sí ocurre en el citoplasma (RE rugoso) y específicamente en los ribosomas, que son esencialmente las fábricas donde se realiza la traducción y la síntesis.

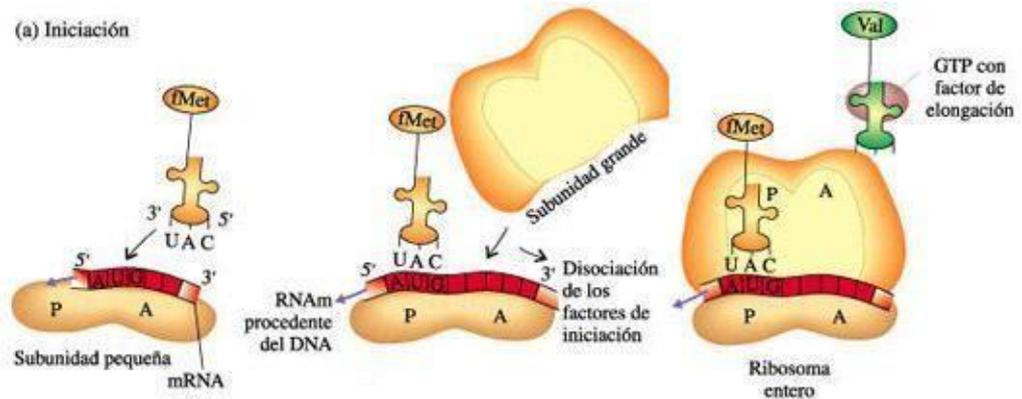
La siguiente ilustración resume todos los procesos (desde la transcripción) necesarios para la síntesis final de las proteínas.



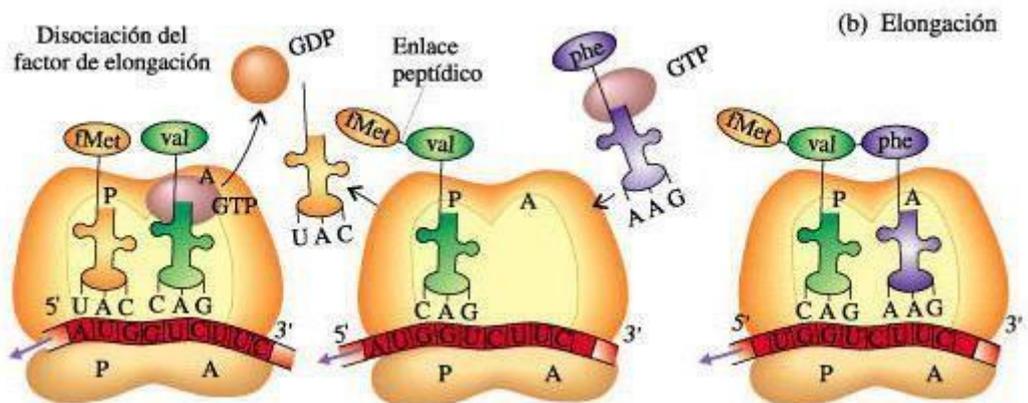
Además de los tres tipos de ARN, se requieren una serie de enzimas y factores que determinan el **inicio**, **alargamiento** y **terminación** de la traducción. Como se ilustrará más abajo con más detalle, los ARNt, cada uno con su aminoácido correspondiente y su anticodón, se unen a sus codones complementarios en la molécula del ARNm, y de esa manera el ribosoma, al irse moviendo sobre la molécula de ARNm permite la unión de los aminoácidos (por uniones peptídicas) en el orden correcto. Procesos enzimáticos catalizan la unión y separación de aminoácidos a los ARNt, y todas las reacciones necesarias para la construcción del polipéptido. Como estas reacciones necesitan energía, primero se activan los aminoácidos uniéndose al ATP y luego este aminoacil-AMP se une al ARNt formando un aminoacil-ARNt. Con los aminoácidos activados, se puede iniciar la síntesis, luego se va alargando la cadena polipeptídica, y al final se completa.

- a. **Iniciación:** La iniciación de la síntesis proteica ocurre cuando se forma un complejo entre el ARNm, la subunidad menor del ribosoma y el primer ARNt

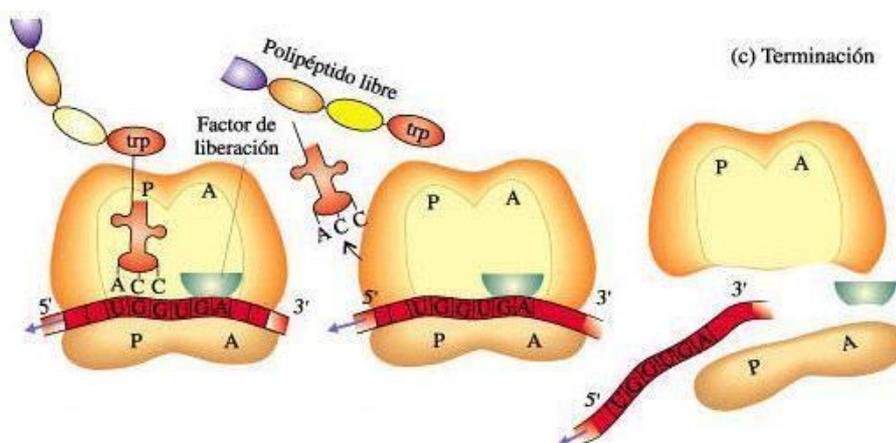
cargado con su aminoácido (que se une al codón de inicio AUG), y a continuación se agrega la subunidad mayor para formar el ribosoma completo (imagen modificada de Curtis 2000).



b. **Elongación:** En el proceso de alargamiento se van agregando los aminoácidos transferidos por los ARNt uno a uno al compartimento A del ribosoma, que luego pasará al B, para permitir la adición del siguiente ARNt. El codón específico asegura la unión con un anticodón complementario y así se especifica cada uno de los aminoácidos correspondientes. Intervienen en este proceso factores de alargamiento o elongación (proteínas especiales) y energía suministrada en la forma de GTP (imagen modificada de Curtis 2000).



c. **Terminación:** Luego de completarse la cadena de aminoácidos correspondiente al polipéptido, una serie de enzimas y factores especiales se combinan para reconocer el codón de terminación y formar un complejo de terminación, para asegurar que se complete en forma correcta el polipéptido y se separe del ribosoma (imagen modificada de Curtis 2000). En la ilustración se muestra el codón de terminación UGA (los otros son UAA y UAG, que no codifica para un aminoácido, pero sí sirve para señalar la terminación y es el sitio para la unión con un factor de liberación).



Regulación de la expresión genética: características

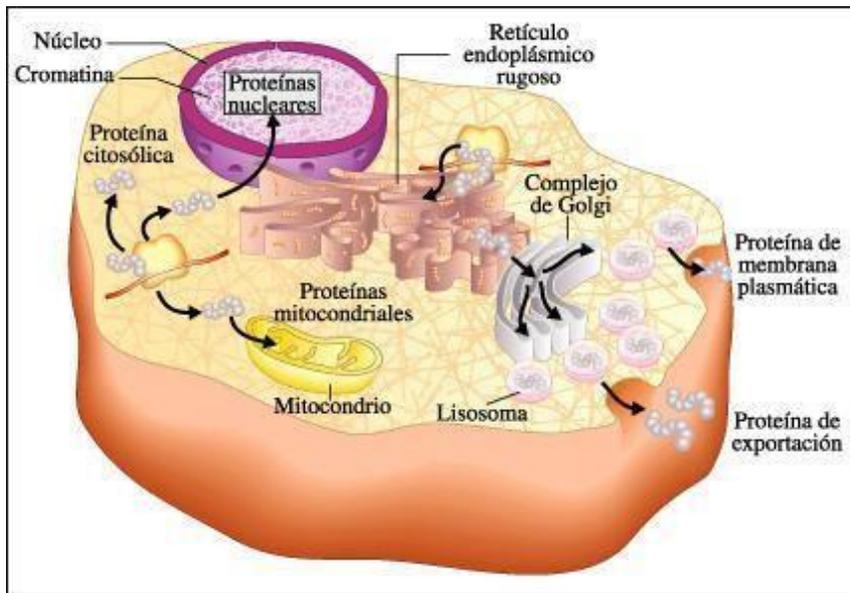
La expresión genética o génica es la materialización de los productos que se fabrican con la información genética. El control de este proceso se produce a través de una gran variedad de factores que a su vez intervienen en un número de procesos: como cualquiera de los pasos involucrados en la transcripción (síntesis de ARN), hasta los procesos posteriores a la traducción genética que resultan en la conformación tridimensional y funcionalidad de la proteína.

A esta altura es evidente que el concepto un gen – un polipéptido, no es simplemente “un gen” y su producto, sino que incluso se requieren una serie de otros genes y sus productos, y otros factores que funcionan como promotores, operadores y reguladores de los procesos genéticos que terminan en la síntesis de una proteína.

A su vez, en diferentes etapas del desarrollo de los organismos (por ej. el desarrollo embrionario, cuando las células se van diferenciando y formando diferentes tejidos y órganos), ciertos genes o regiones de cromosomas que pueden ser muy activos en un momento determinado (para fabricar ciertas proteínas), luego sean “silenciados”, puesto que su actividad ya no se requiera. Esta regulación puede ser química o también estructural, por ejemplo, a través de un enrollamiento (empaquetamiento) más condensado, como ocurre en la hetero-cromatina.

Resumen

A modo de resumen, en el núcleo de las células eucariotas, está el genoma, con la información para la síntesis de las proteínas que intervienen en la vida de la célula. Las moléculas de ADN (que forman los cromosomas) contienen los genes, secuencias de nucleótidos, que codifican la síntesis de polipéptidos a través de la transcripción (síntesis de los diferentes ARN) y la traducción (síntesis de proteínas). Esta expresión genética es continuamente regulada a través de varios factores y procesos. La ilustración (Curtis 2000) muestra como a partir de la información genética en el núcleo se terminan sintetizando una variedad de proteínas que se distribuirán a los distintos lugares de la célula (o del cuerpo) para realizar su función específica.



Unidad V: Energía celular

La energía en los seres vivos

Los sistemas vivos convierten la energía de una forma en otra a medida que cumplen funciones esenciales de mantenimiento, crecimiento y reproducción. En estas conversiones energéticas, como en todas las demás, parte de la energía útil se pierde en el ambiente en cada paso. El **metabolismo** (del Gr. *metabole*, cambio) son todas las reacciones químicas de un organismo y están sujetas a las leyes de la termodinámica.

Leyes de la termodinámica

Todos los seres vivos son sistemas abiertos en los que la energía y la materia se transfieren entre el sistema y el medio en que están. Por ejemplo, las plantas absorben energía de la luz y la usan para fabricar moléculas orgánicas, y en general los organismos adquieren moléculas orgánicas ricas en energía y las transforman para obtener esa energía, y al mismo tiempo liberan calor y productos metabólicos al medio, como el dióxido de carbono. Todos estos procesos están gobernados por dos leyes de la termodinámica.

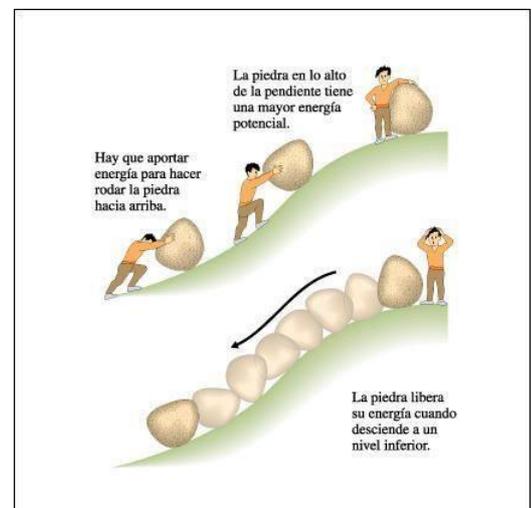
- **1ª Ley de termodinámica.** De acuerdo con esta ley, la energía del universo es constante. La primera ley establece que la energía puede convertirse de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse. Este es el principio de conservación de la energía. La energía potencial del estado inicial (o de los reactivos) es igual a la energía potencial del estado final (o de los productos) más la energía liberada en el proceso o reacción.
- **2ª Ley de termodinámica.** En las transformaciones químicas siempre al pasar de una forma a otra se pierde parte de la energía en una forma incapaz de realizar trabajo, o sea que la energía potencial del estado final siempre será menor que la energía potencial del estado inicial. Esto hace que todos los procesos naturales tienden a ocurrir en dirección tal que el desorden del universo se incrementa (universo = sistema + entorno). Por esto la 2ª ley muchas veces se expresa como un aumento en la entropía (la medida del desorden o aleatoriedad).

Cuando se combinan las dos leyes, se puede ver que, aunque la cantidad de energía en el universo es constante, en realidad la calidad no es la misma. Por ejemplo, mucha energía se ha convertido en calor y otras formas de energía de una calidad inferior. Como los seres vivos son sistemas ordenados necesitan energía, y una forma especial, denominada **energía libre** (o sea de una calidad especial) que puede realizar trabajo cuando las condiciones del sistema son constantes (este estado uniforme se denomina **homeostasis**).

Transformaciones energéticas

Durante las reacciones químicas los átomos y las moléculas interactúan para formar productos más simples o más complejos, y resultan en un cambio de energía. Algunas reacciones “producen energía” (liberan energía) y los productos tienen menos energía que los reactantes: se llaman reacciones exergónicas: éstas reacciones son valiosas para la célula porque pueden utilizarse para realizar trabajo (por ejemplo, fabricar una molécula compleja). Otras reacciones “consumen energía” (requieren energía para poder ocurrir) y se denominan endergónicas (los productos tienen mayor energía que los reactantes, por ejemplo, una molécula de glucosa).

En los seres vivos muchas de las reacciones químicas son endergónicas (consumen energía) por lo que se necesita un suministro continuo de energía para que se sigan realizando. Esto se logra con el acoplamiento de una reacción exergónica a las que requieren energía. La sustancia química más importante para esta función es el **ATP (adenosín trifosfato)** y para su fabricación se requiere energía, que típicamente se obtiene en la alimentación y el catabolismo de las moléculas orgánicas producto de la digestión. En el ejemplo de esta figura (hombre con la piedra), la energía aportada para empujar la piedra “cuesta arriba” es la del ATP (claro que, para fabricar ATP, también se necesita energía, en el caso de las plantas la energía del sol). Pero ahora, gracias a esa energía se fabricaron moléculas orgánicas, por ejemplo, la glucosa, que ahora tiene energía “almacenada” en sus enlaces químicos (se podría decir), energía potencial (como la roca en la cima de la cuesta. Esa energía almacenada es la que se libera en la glucólisis y respiración celular, cuando se rompen esos enlaces químicos y se degradan las moléculas (representada por la piedra rodando “cuesta abajo”. Los procesos específicos de estas transformaciones energéticas se verán en la siguiente unidad, al discutir el metabolismo de las sustancias orgánicas para obtener su energía y convertirla en energía útil para realizar el trabajo celular.



Dado que puede ser que las reacciones espontáneas sean muy lentas o que incluso ni ocurran, los seres vivos tienen **catalizadores** que aceleran y hacen posible las reacciones: son las **enzimas**, que son proteínas catalíticas con propiedades especiales.

Enzimas

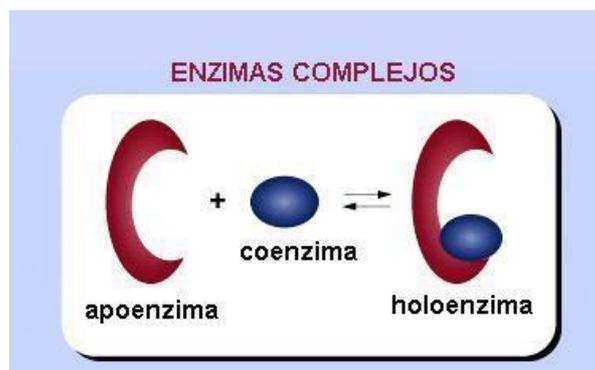
Las enzimas son proteínas que regulan, controlan, aceleran y al final hacen posible las reacciones químicas (tanto endergónicas como exergónicas), optimizando el gasto energético.

- **Composición química:** Para reaccionar, las moléculas deben poseer suficiente energía, la energía de activación a fin de chocar con suficiente fuerza para superar su repulsión mutua y debilitar los enlaces químicos existentes.

Las enzimas actúan como catalizadores; disminuyen la energía de activación incrementando enormemente la velocidad a la que se producen las reacciones químicas en las células. Una reacción no catalizada requiere más energía de activación que una catalizada, como una reacción enzimática.

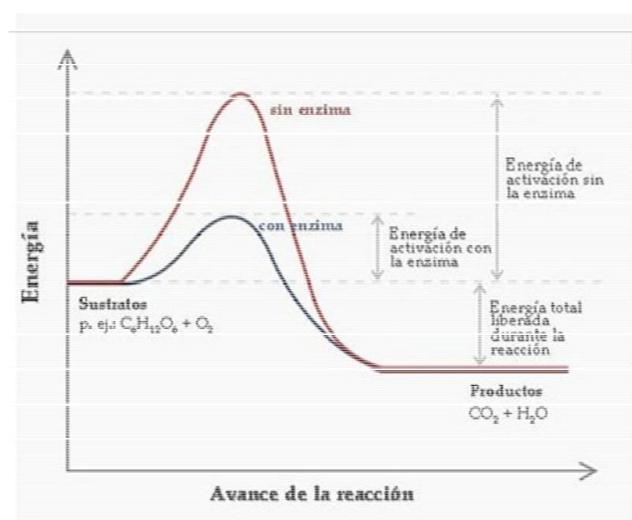
Las enzimas son grandes moléculas de proteínas globulares cuyo modo de plegamiento asegura que grupos particulares de aminoácidos formen un sitio activo. Cuando las enzimas pierden su estructura tridimensional característica, se dice que están desnaturalizadas. Las moléculas reactivas, conocidas como

sustrato, se ajustan con precisión a este sitio activo. Aunque la conformación de una enzima puede cambiar temporalmente en el curso de una reacción, no se altera permanentemente. Muchas enzimas requieren de cofactores, que pueden ser iones simples o moléculas orgánicas no proteicas conocidas como coenzimas, la función de las enzimas es transportar electrones o mantener a los electrones en niveles energéticos ligeramente distintos.



Poder catalítico

Las enzimas son catalizadores porque pueden acelerar las reacciones químicas **reduciendo las barreras de energía para la activación** de la reacción. En el gráfico se muestra con una línea roja la barrera energética que hay que superar para que se degrade una molécula de glucosa (por ejemplo, para romper los enlaces químicos). Pero con la adición de una enzima esa barrera (nivel) de activación se reduce considerablemente. Esta reacción

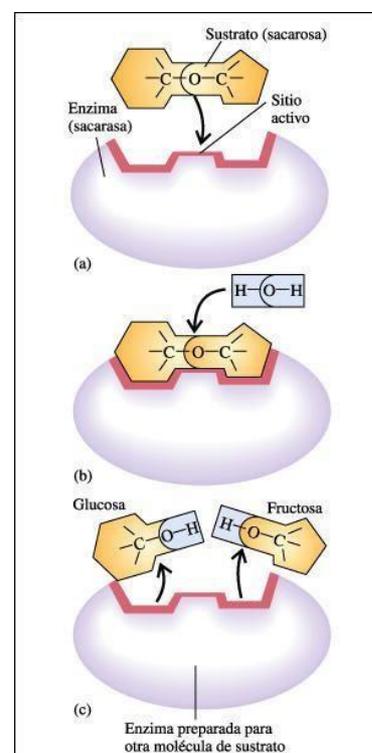


es exergónica, dado que se ha liberado una cantidad de energía (energía libre negativa) al degradar la glucosa en sus productos ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). En una reacción endergónica la energía libre de los productos será de un mayor nivel que la de los sustratos (se ha consumido energía para fabricar los productos).

Este poder catalítico no solo resulta en un ahorro energético, sino que también resulta en la aceleración de la reacción química.

Especificidad

Una característica fundamental de las enzimas es que cada una actúa sobre un **sustrato** específico. Estos son los reactantes de la reacción que cataliza la enzima. Al unirse la enzima con el sustrato (o sustratos) se produce la acción enzimática (o catalización), en la que los reactantes (o sustrato) se convierten en productos; es decir, la degradación de una molécula en otras, o la unión de moléculas para formar otra. Como la unión enzima – sustrato depende de la conformación tridimensional de la enzima, cada sustrato se acopla con una enzima específica. Esto se denomina **especificidad absoluta**. Sin embargo, otras enzimas pueden actuar sobre varios tipos de moléculas en general del mismo grupo. Esta especificidad es posible porque la enzima tiene una región especial de su molécula (el punto de acople con el sustrato) que se denomina **sitio activo**. Este es el centro catalítico de la enzima. La forma tridimensional del sitio activo permite el reconocimiento y unión con el sustrato específico.



En la ilustración (Curtis 2000), la enzima sacarasa (típicamente las enzimas reciben su nombre de los sustratos sobre los que actúan, en este caso la **sacarasa** actúa sobre el disacárido **sacarosa**), tiene un sitio activo donde únicamente encaja la sacarosa, y además encaja en forma bien justa, el sitio se adapta alrededor del sustrato (o sustratos) para catalizar la reacción. Una vez producida la reacción los productos se liberan y la enzima está lista para volver a realizar la misma reacción. Todos estos detalles de la acción enzimática contribuyen a la eficacia de las enzimas.

Eficacia

Las enzimas son catalizadores muy eficientes (mucho más que los no bio-lógicos), primero porque actúan tan bien en muy pequeñas cantidades y segundo porque pueden acelerar las reacciones químicas hasta velocidades extremadamente altas. **Velocidad:** Las enzimas aceleran las reacciones químicas, o sea que hacen posible que

las reacciones sean muchas veces más rápidas de lo que serían sin enzimas. En algunos casos se ha podido medir que la velocidad de las reacciones se aumenta millones de veces por la acción enzimática (y hasta miles de millones de veces más rápidas). Esto se debe fundamentalmente a la capacidad de disminuir la barrera de energía de activación de la reacción y además por lo que se conoce como **recambio**.

- a. **Recambio:** El número de recambio, es el número de moléculas de sustrato que una enzima puede transformar en producto por unidad de tiempo. Algunas enzimas pueden catalizar la misma reacción hasta miles de veces por segundo (¡se han llegado a medir recambios de hasta 600.000 por segundo!).
- b. **Energía de activación:** Las enzimas son catalizadoras porque disminuyen la barrera de energía de activación necesaria para el inicio de una reacción química, permitiendo además de un ahorro energético, incrementar la velocidad de las reacciones.

Cinética enzimática

Esto se refiere a la **velocidad de la reacción** a medida que va ocurriendo. Como al iniciarse la reacción química existe una buena cantidad de sustrato, la enzima funcionará a su máxima capacidad. Sin embargo, a medida que el sustrato disminuye su concentración (se ha convertido en producto) también disminuye la cantidad de producto que se va fabricando. Cuando la reacción llega a su equilibrio, la curva de cantidad de producto formado por unidad de tiempo se nivelará. En esta situación puede ser que una enzima también catalice la reacción inversa y el producto se transforme en sustrato (**reversibilidad de la reacción**). Normalmente se habla de actividad enzimática cuando la reacción ocurre a su máxima velocidad en condiciones normales. Sin embargo, factores del medio pueden afectar la cinética enzimática.

- a. **Efecto de la temperatura:** Recordarán de la unidad 1, que la compleja estructura tridimensional de las proteínas (estructura terciaria y cuaternaria) era susceptible a **desnaturalización** (alteración de esa estructura). Debido a que el aumento de la temperatura hace que las moléculas choquen entre sí, la acción enzimática también aumentará con el aumento de la temperatura, pero solo hasta cierto punto **óptimo**. Más allá de ese punto, la reacción enzimática decaerá rápidamente, porque las uniones químicas comienzan a romperse y eventualmente la molécula proteica se desnaturaliza. Esta es una de las razones por las cuales es importante mantener la temperatura del sistema constante.
- b. **Efecto del pH:** De la misma manera en que las enzimas funcionan óptimamente a una temperatura determinada, también diferentes reacciones químicas se desarrollarán óptimamente a pHs determinados. Esto es porque el pH puede llegar

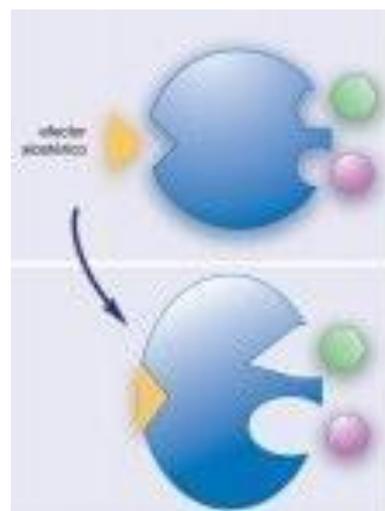
a modificar los grupos químicos ionizables de las enzimas (alterando el sitio activo, o al final desnaturalizando la proteína), como también de los sustratos. Por esto muchas enzimas presenta un valor de pH óptimo en el cual su actividad es máxima. Como muchas veces el pH del medio intracelular (pH fisiológico) puede ser diferente que el pH óptimo de la enzima, ese puede ser un factor de control celular de la actividad de las enzimas

Control

La acción catalizadora de las enzimas está bajo un estricto control celular. Un factor importante es la concentración de la enzima y del sustrato, y además la disponibilidad de ciertos factores (sustancias químicas) que actúan en la regulación de la actividad enzimática. Además, la célula puede sintetizar enzimas cuando se requiera.

- a. **Regulación:** La regulación de la acción enzimática puede realizarse de varias maneras, y se ve afectada por varias condiciones del medio, por ej. temperatura y pH, y la cantidad de sustrato, enzima o cofactores. Dos formas importantes de regulación son: la regulación alostérica y la inhibición.
- b. **Inhibición y regulación alostérica:** En el caso de la **inhibición** de la acción enzimática, ciertos “**venenos**” enzimáticos pueden bloquear la actividad enzimática, ya sea en forma permanente (irreversible) alterando la estructura de la enzima (ej. algunos insecticidas), o en forma transitoria (reversible) uniéndose al sitio activo y bloqueándolo, o uniéndose temporariamente a otras partes de la enzima (los grupos –SH de algunos aminoácidos) haciéndola menos eficiente (como algunos iones metálicos pesados como el Cu^{2+}).

La **regulación alostérica** implica la unión de una sustancia diferente al sustrato (los **cofactores** descritos en composición química: iones inorgánicos, coenzimas y grupos prostéticos) se une a la enzima en un sitio diferente al sitio activo (figura, Curtis2005) tornándolo funcional o no funcional. A veces puede ser que un producto de la reacción enzimática sea el efector alostérico, pudiendo así regular la reacción a través de **inhibición por retroalimentación**.



Unidad VI: Metabolismo celular

Todas las reacciones químicas que realiza un organismo se denominan en conjunto “**metabolismo**” (del Gr. *metabole*, cambio). La química de la vida está organizada a través de una serie de vías de reacciones químicas. A través de estas vías, los organismos construyen moléculas importantes para su estructura y funcionamiento, como también degradan moléculas químicas, tanto como para obtener la energía almacenada en ellas, como para utilizar componentes en la fabricación de otras.

Todos los organismos viven gracias a la energía química libre. Una serie de reacciones químicas son transformaciones energéticas que proveen esa energía libre que permite realizar trabajo y mantener el equilibrio y condiciones necesarias para la vida. Como vimos anteriormente, todas estas reacciones son catalizadas por enzimas. Gracias al metabolismo la célula administra todos los recursos materiales y energéticos importantes para la vida de la célula o el organismo.

Reacciones anabólicas y catabólicas

Existen dos tipos principales de reacciones metabólicas: anabólicas y catabólicas (anabolismo y catabolismo, respectivamente). Estas se diferencian en el uso de la energía. Como ya se mencionó, estas reacciones están interconectadas: las anabólicas dependen de las catabólicas, es decir, están **acopladas** (como se ilustra en el diagrama). Este acoplamiento se realiza a través de un intermediario químico, que generalmente es el ATP (adenosín trifosfato). Se podría decir que la energía en los seres vivos es el ATP. Como se puede ver, la energía liberada en el catabolismo se usa para fabricar ATP, y con el ATP se pueden realizar reacciones endergónicas del anabolismo que requieren energía.

Anabolismo

En las **vías o procesos anabólicos** se consume energía para construir molécula compleja a partir de otras más simples. El anabolismo es la síntesis de moléculas complejas a partir de bloques más sencillos. Un buen ejemplo es la síntesis de glucosa (una molécula bastante simple, monosacárido) por las plantas durante la fotosíntesis. Gracias a la energía lumínica, la planta fotosintética lleva a cabo las reacciones anabólicas para que a partir de CO₂ y H₂O se fabrique C₆H₁₂O₆ (glucosa). Otro ejemplo es la síntesis de moléculas complejas como las proteínas, donde a partir de moléculas simples como los aminoácidos (pero con una serie de procesos complejos como la transcripción y la traducción genética) se fabrican en los ribosomas con la energía suministrada por el ATP y el GTP (Guanosín trifosfato o **GTP** es un nucleótido cuya base nitrogenada es la purina guanina. Su función es similar a la del ATP, dado que también es utilizado como moneda energética. Además, el **GTP** es el precursor de la base guanina en la síntesis de ADN (replicación) y en la de ARN (transcripción).

Estas reacciones son por lo general **reductoras** (es decir, un proceso de hidrogenación). Al reducirse las moléculas ricas en energía (por ej. NADPH que se reduce a NADP) se consume la energía para fabricar una molécula rica en energía como la glucosa. Al consumir la energía se dice que son reacciones **endergónicas**.

Catabolismo

En contraste a las reacciones anabólicas, en las **vías o procesos catabólicos** se libera energía a través de la degradación de moléculas complejas a más simples. Una de las vías del catabolismo más importantes en los seres vivos, es la respiración celular, en la que la glucosa (carbohidrato rico en energía) y otros combustibles orgánicos se degradan en CO₂ y H₂O, y la energía liberada (ATP) queda disponible para el trabajo de la célula. Estas reacciones son por lo general **oxidativas** (en general un proceso de deshidrogenación: pérdida de H) y mediante este proceso se pueden fabricar estos intermediarios de alta energía, como el ATP. Como las reacciones catabólicas liberan energía, se dice que son **exergónicas**.

Catabolismo de la glucosa

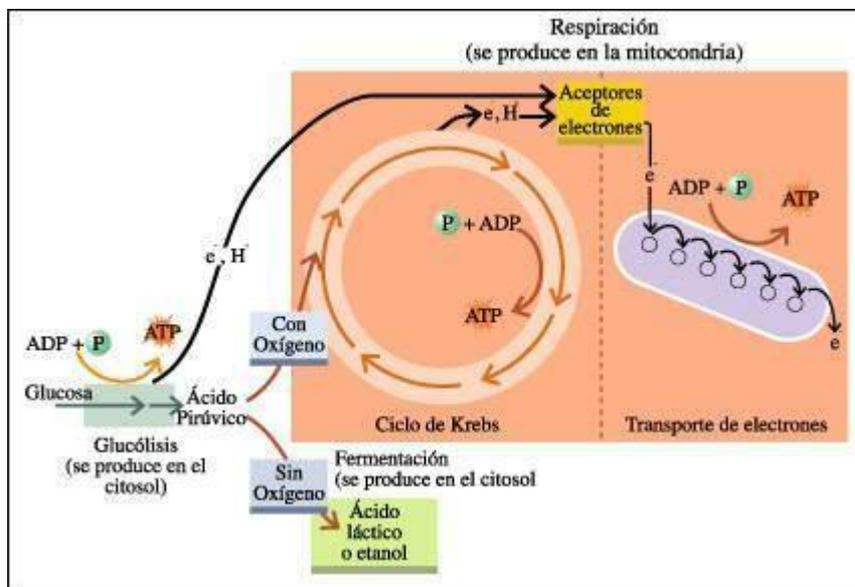
Las moléculas orgánicas, tales como carbohidratos, lípidos y proteínas, son combustibles que pueden ser procesados a fin de liberar la energía que tienen almacenada, a través de reacciones catabólicas. Una de las vías catabólicas más importantes es la degradación del monosacárido glucosa, sintetizado por las plantas por medio de la fotosíntesis (gracias a la energía luminosa). Dos procesos catabólicos para obtener la energía de la glucosa son: una vía aeróbica (con oxígeno) que es la más común y eficiente, la **respiración celular** que incluye la **glucólisis**, el **ciclo de Krebs** y la **cadena transportadora de electrones que se acopla a la fosforilación oxidativa** y la **fermentación**, que es un proceso anaeróbico (sin oxígeno) de degradación parcial. La glucólisis obtiene energía química al oxidar la glucosa a piruvato. En el ciclo de Krebs se completa la oxidación de moléculas orgánicas y con esa energía se reducen coenzimas energéticas, que en la cadena transportadora de electrones se oxidan para la síntesis de ATP. Una descripción general de este proceso sería:



La degradación de la glucosa es un proceso exergónico. Lo importante de recordar es que la energía útil para realizar trabajo celular tiene la forma de ATP.

Como se observa en el diagrama general (ilustración de Curtis 2000) de la respiración celular (algunos prefieren llamar respiración al proceso que ocurre dentro de la mitocondria, recuadro anaranjado, que incluye el ciclo de Krebs y la cadena transportadora de electrones), la degradación de la glucosa comienza en el citosol de la

célula y luego se continúa aeróbicamente (con oxígeno) en la mitocondria, o anaeróbicamente (sin oxígeno) a través de la fermentación en el citosol.

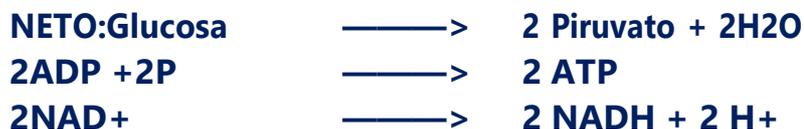


Glucólisis

El primer paso en la degradación de la molécula de glucosa es la glucólisis. Ocurre en el citosol de la célula y a través de una serie de pasos termina oxidando la glucosa en dos moléculas de piruvato. El proceso involucra 10 pasos, cada uno catalizado por una enzima específica. Se pueden dividir en **dos fases**: en la primera fase se invierte energía en la forma de ATP para las reacciones, y en la segunda se obtiene una ganancia energética neta en la forma de **ATP** y **NADH** más dos moléculas de **piruvato** (donde sigue quedando más de tres cuartos de la energía de la molécula original de glucosa). La glucólisis se realiza en presencia o en ausencia de oxígeno, y no libera CO₂.

Primera fase: Glucosa + 2 ATP → 2 triosas (terminan en gliceraldehido)

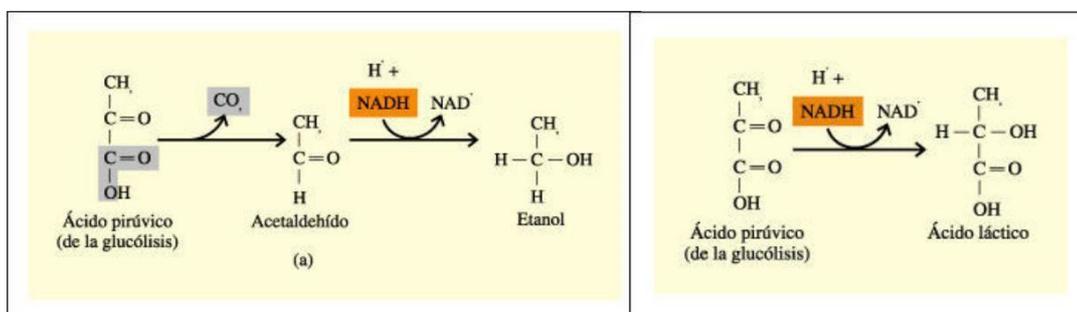
Segunda fase: Gliceraldehido → 4ATP + 2 NADH + 2 piruvato



En presencia de oxígeno (vía aeróbica) tanto el NADH como el piruvato pueden ceder su energía para la síntesis de ATP en la mitocondria. Esto se produce en la mitocondria, donde la energía contenida en los piruvatos y en el NADH es liberada para fabricar ATP. En ausencia de oxígeno (vía anaeróbica) la fermentación hace posible que algunas células puedan seguir produciendo ATP en el citosol.

Fermentación

La fermentación es una extensión de la glucólisis que permite la reducción del ácido pirúvico (o piruvato) en ausencia de oxígeno. De paso, la glucólisis también es un proceso anaeróbico que no requiere de oxígeno. Luego de la glucólisis, los procesos anaeróbicos permiten que una cantidad de células puedan fabricar ATP (por ej. microorganismos anaeróbicos, células musculares con un déficit de O₂, glóbulos rojos maduros que no tienen mitocondrias).



Existen dos vías anaeróbicas principales de fermentación:

- Fermentación alcohólica:** En la figura (arriba a la izquierda, Curtis 2000) se muestra como a partir del ácido pirúvico, producto de la glucólisis, y en ausencia de oxígeno, se puede producir **acetaldehído** y con la energía del NADH convertir en **etanol** (alcohol etílico). Este proceso regenera el suministro de NAD⁺ tan necesaria para la glucólisis. Esta es la fermentación típica de la producción de vino (realizada por las levaduras).
- Fermentación láctica:** en el segundo diagrama (derecha, Curtis 2000) se detalla la segunda vía anaeróbica de fermentación en el que el NADH reduce el ácido pirúvico para producir **ácido láctico** (un producto de desecho) sin la liberación de CO₂. Este proceso es típico en la producción láctea de quesos y yogurt por ciertas bacterias y hongos.

Estas reacciones también son típicas en los músculos esqueléticos. Cuando se está realizando un ejercicio intenso y la producción de ATP supera la disponibilidad de oxígeno en las células musculares, las células recurren a la fermentación, y se **acumula ácido láctico**, produciendo **fatiga** y **dolor muscular**. Gradualmente con la recuperación aeróbica el ácido láctico se transporta en la sangre al hígado donde se convierte en piruvato.

Existen otras formas de fermentación donde los productos pueden ser el ácido acético y el ácido fórmico, entre otros.

La fermentación es un mecanismo importante en organismos anaerobios. Sin embargo, muchas células son anaerobios facultativos (levaduras y muchas bacterias), es decir pueden realizar tanto la respiración o la fermentación (las células musculares tienen esta capacidad también). Aunque en la fermentación se produce ATP, con la respiración aeróbica se produce 19 veces más de ATP por molécula de glucosa que en la fermentación. Bajo condiciones aeróbicas, en estas células el piruvato se convierte en acetil CoA, y la oxidación continuará con el ciclo de Krebs en la mitocondria.

Ciclo de Krebs

En este ciclo, la energía contenida en las moléculas de piruvato se extrae para producir NADH, FADH₂ y ATP. La mayor parte de la energía en esta etapa queda almacenada en la forma de NADH y FADH₂, que luego cederán sus electrones durante la fosforilación oxidativa (en la cadena de transporte de electrones) para producir la mayor parte del ATP.

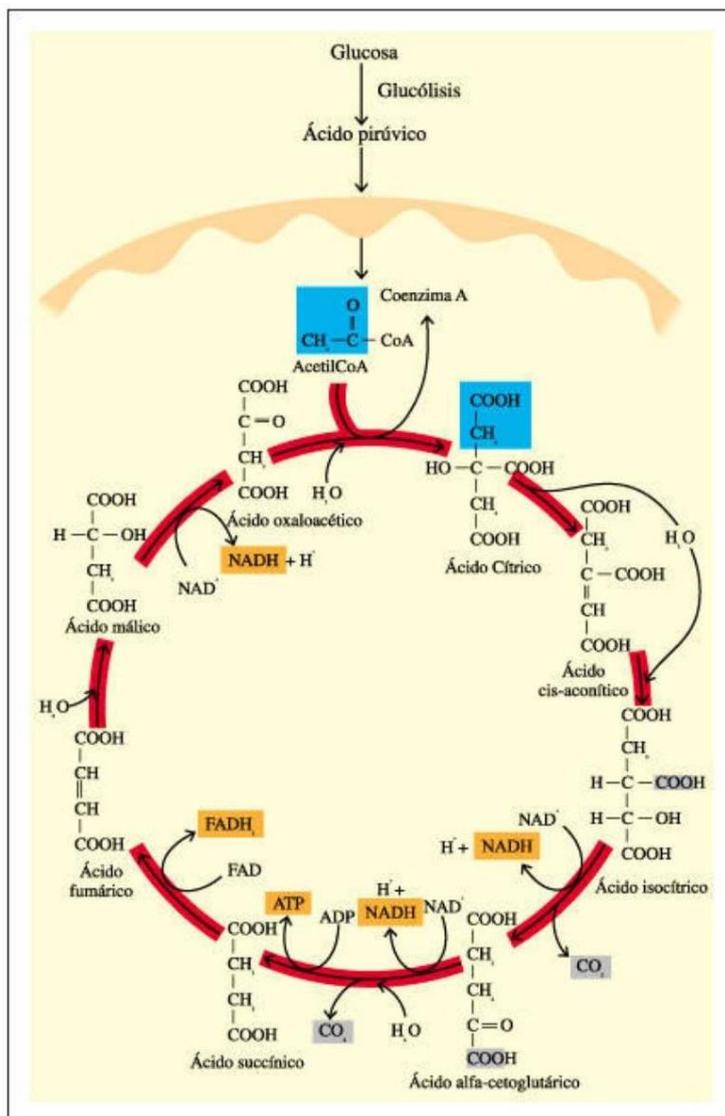
Antes del ciclo de Krebs (ver diagrama más abajo, Curtis 2000), el ácido pirúvico (o piruvato) es transportado a través de la membrana de la mitocondria a su interior y en tres pasos se convierte en **Acetil CoA**, con la liberación de CO₂ (todo esto se realiza gracias a varias enzimas). Ahora el acetil CoA comienza su transformación en el ciclo de Krebs, que se realiza en la matriz de la mitocondria.

El **ciclo de Krebs** consiste en una serie de ocho pasos (ver diagrama el ciclo más abajo), cada uno catalizado por una enzima específica. En la matriz mitocondrial, el **ácido oxaloacético** se une al grupo acetilo del **acetil CoA** y se forma un compuesto de 6 carbonos el **ácido cítrico** (a veces el ciclo de Krebs se denomina ciclo del ácido cítrico), que a través de varias transformaciones posibilita la formación de un poquito de ATP, pero principalmente NADH (por reducción del NAD⁺) y FADH₂ (una oxidación que permite la reducción de FAD). El último paso del ciclo permite la formación de ácido oxaloacético nuevamente y el ciclo puede realizarse nuevamente. Por cada molécula de glucosa se producen dos “vueltas” del ciclo de Krebs.

Como también se aprecia en el diagrama, en dos pasos se libera CO₂ y en otros dos pasos se consume H₂O.

Como resumen de las reacciones (luego de la glucólisis):

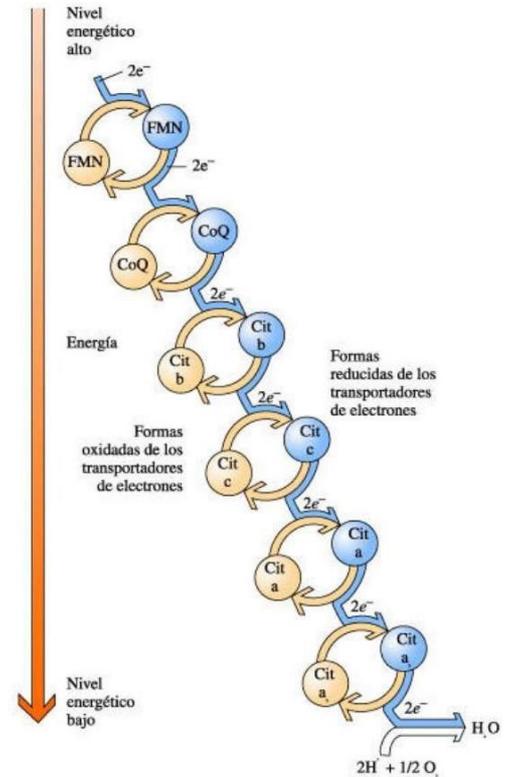




Cadena de transporte de electrones (o cadena respiratoria)

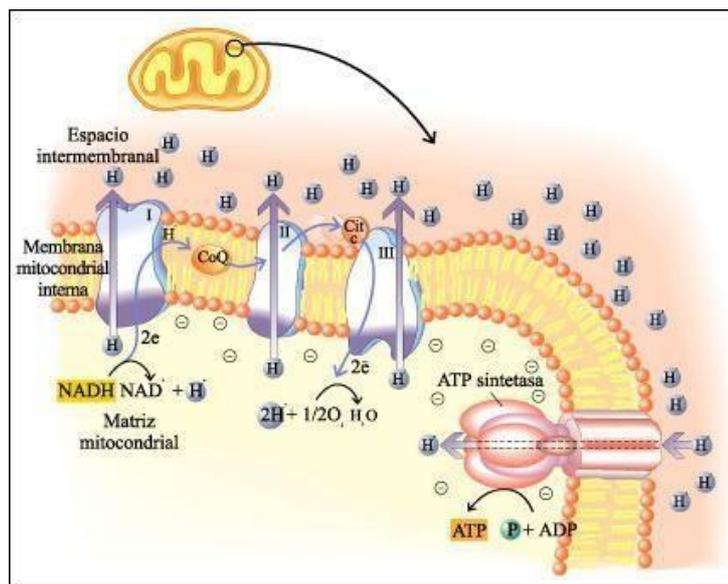
El problema es que hasta ahora solo se han producido cuatro moléculas de ATP de una molécula de glucosa. La mayoría de la energía está contenida en las moléculas de NADH y FADH. En la **membrana de la cresta mitocondrial** (membrana interna de la mitocondria) existen una serie de proteínas y otras moléculas que actúan como transportadores de electrones (figura a la derecha, Curtis 2000). Estas proteínas transportadoras están unidas a grupos prostéticos (porciones no proteicas) que cambian su estado (reducido-oxidado y viceversa) a medida que reciben y donan electrones. A medida que se transportan los electrones hay una disminución de la energía libre. El último de los transportadores (un citocromo a3) pasa su electrón al oxígeno molecular (el O₂ que respiramos) permitiendo que éste se una a un par de iones de hidrógeno del medio acuoso y se forma **agua**.

Noten que la cadena de transporte de electrones produce ATP directamente, sino que a través de esa serie de pasos sucesivos de oxidación- reducción se convierte todo el NADH (en NAD) y todo el FADH₂ (a FAD), quedando al final todo el H⁺ en solución. En este proceso (el transporte de electrones en la membrana interna de la mitocondria), la energía del NADH y del FADH₂ se usa para **bombear H⁺** desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana. Este hidrógeno acumulado de un lado de la membrana es el producto significativo de la cadena transportadora de electrones, y ha resultado en un **gradiente protónico** (mayor acumulación de protones de un lado, el espacio intermembrana, de las crestas mitocondriales).



Quimiosmosis o fosforilación oxidativa

Los hidrógenos acumulados en el espacio intermembrana (figura abajo, Curtis 2000), producen un **gradiente de protones que** constituye una **fuerza motora protónica**. Al estar más concentrados los hidrógenos en el espacio intermembrana, tienen la tendencia de querer pasar al otro lado (matriz), y el único lugar por el cual pueden hacerlo es a través de canales en una enzima excepcional, un verdadero motor rotativo, la **ATP sintetasa**. Este molino molecular (o motorcito protónico) es un complejo proteico que está engarzado en la cresta mitocondrial (también los hay en las granas de los cloroplastos, y en la membrana plasmática de los procariontes). Esta enzima consiste en cuatro subunidades polipeptídicas, que con funciones específicas (anclaje y sostén, rotación, transmisión, sitio activo), proveen todas las condiciones para la fosforilación del ADP en ATP.



De esta manera la quimiosmosis **acopla** la cadena transportadora de electrones a la síntesis de ATP. Ahora sí se obtiene el mayor rendimiento de una molécula de glucosa al producirse una gran cantidad de moléculas de ATP.

Balance final energético

La respiración celular genera un total de 38 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa oxidada. Durante este proceso de obtención de energía (ver cuadro abajo, Curtis 2000), primero en la glucólisis comienza la degradación de la glucosa y se generan 2 ATPs por fosforilación de sustrato y 2 NADH, y quedan 2 moléculas de piruvato. Luego el piruvato se convierte a acetil CoA, produciéndose 2 NADH. En la matriz mitocondrial, 2 acetil CoA entran al ciclo de Krebs, y luego de 2 ciclos, se producen 2 ATPs (por fosforilación de sustrato), 6 NADH y 2 FADH₂. Todos estos NADH y FADH₂ transfieren electrones a la cadena transportadora de electrones, a su vez haciendo posible el acople de este transporte a la fosforilación de numerosas moléculas de ATP.

Resumen del rendimiento energético máximo obtenido por la oxidación completa de la glucosa

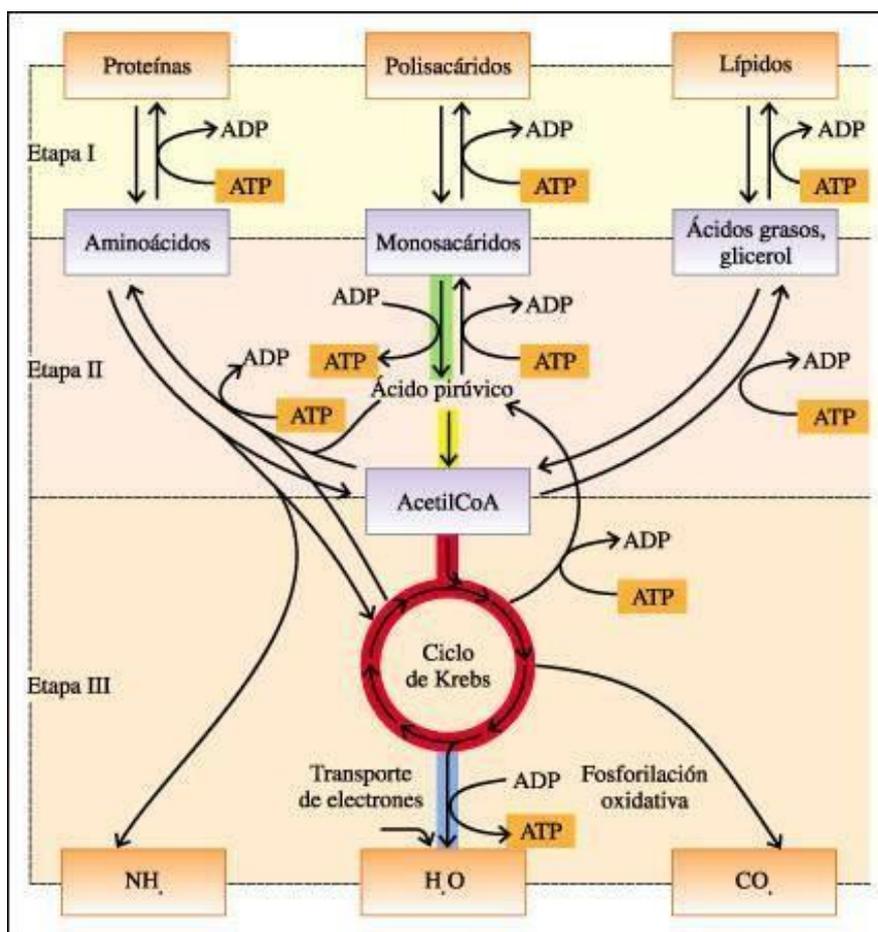
Proceso		Producción de moléculas en:		
		Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico
Glucólisis		2 ATP		2 ATP
		2 NADH		6 ATP*
Respiración	Ácido Pirúvico a acetil CoA		2 x (1 NADH)	2 x (3 ATP) → 6 ATP
	Ciclo de Krebs		2 x (1 ATP)	2 ATP
			2 x (3 NADH)	2 x (9 ATP) → 18 ATP
		2 x (1 FADH ₂)	2 x (2 ATP) → 4 ATP	
Total:				38 ATP

* En algunas células, el costo energético de transportar electrones desde el NADH formado en la glucólisis, a través de la membrana interna del mitocondrio, baja la producción neta de estos 2 NADH a 4 ATP; así, la producción máxima total en estas células es 36 ATP.

En total, de una molécula de glucosa (aunque puede variar), se producen **38 moléculas de ATP**. Esto representa aproximadamente como **50%** de recuperación de energía de la glucosa. Parte del resto es energía calórica que la célula utiliza para mantener la temperatura del cuerpo. Se ha calculado que en un automóvil solo se recupera un 25% de la energía almacenada en el combustible. De esta manera se pone de manifiesto la gran eficiencia energética de las células.

Catabolismo de hidratos de carbono, lípidos y proteínas

La figura debajo (Curtis 2000), muestra como los procesos de respiración celular están conectados con otras vías metabólicas. Esto demuestra la versatilidad de los procesos catabólicos en la célula, que permiten mayor eficiencia y aprovechamiento. Por supuesto que nuestras dietas nos proveen con una diversidad de sustancias orgánicas generalmente complejas, que nuestro sistema digestivo se encarga de romperlas en moléculas más simples. Por ejemplo, **disacáridos y polisacáridos** (como la sacarosa, el almidón y el glucógeno) se degradan a monosacáridos que pueden catabolizarse en la glucólisis. Los **lípidos** pueden transformarse con la digestión, y luego su glicerol se convierte en gliceraldehido fosfato, un intermediario de la glucólisis. Los ácidos grasos pueden degradarse por beta oxidación a acetil CoA que también entran al ciclo de Krebs.



Y las **proteínas** se degradan a sus respectivos aminoácidos que pueden reciclarse para fabricar más proteínas o convertirse con enzimas a intermediarios de la glucólisis o del ciclo de Krebs. En esta conversión se remueve el grupo amino (desaminación) y los restos nitrogenados se excretan en forma de amoníaco, urea y otros productos de desecho.

A su vez, muchos productos intermediarios, pueden usarse (cuando hay excedente) para fabricar macromoléculas de almacenamiento (proceso de anabolismo, como la producción del polisacárido glucógeno que se almacena en el hígado), o usarse para fabricar proteínas o lípidos. En estos procesos de biosíntesis se requiere de energía en la forma de ATP.

Noten que en todo este proceso de obtención de la energía que nos mantiene con vida, la energía no es producida o fabricada, sino que es liberada de moléculas ricas en energía. En última instancia toda esa energía proviene del proceso de la fotosíntesis que, con la energía del sol y materiales de construcción, produjo las sustancias alimenticias. La respiración celular libera esa energía almacenada en los alimentos, y la hace disponible en forma de ATP para el trabajo celular.

Fotosíntesis: Desde la creación del mundo, Dios le dio una capacidad singular a las plantas, algas y algunas determinadas bacterias, la de absorber y convertir la energía del sol en energía química, mediante el proceso de fotosíntesis. Las sustancias químicas que resultan del proceso fotosintético son carbohidratos formados a partir de materias primarias sencillos, agua y dióxido de carbono, con liberación de oxígeno. La energía química que se almacena en estos alimentos se usa después en reacciones metabólicas que sostienen la vida del planeta, ya que las plantas son seres autótrofos, capaces de producir su propio alimento y por tal motivo forman el primer eslabón de la cadena alimentaria (productores).

La fotosíntesis ocurre en los cloroplastos: Si realizamos un corte de tejido de una hoja vegetal, observaremos un pigmento verdusco distribuido de forma poco uniforme. La **clorofila**, el pigmento mencionado anteriormente, se encuentra limitado en una pequeña organela llamada **cloroplasto**, formada por dos membranas. Dentro de ellas se encuentra una solución de compuestos orgánicos e iones en el **estroma** y un sistema complejo de membranas internas fusionadas que forman sacos denominados **tilacoides**. Los tilacoides se apilan para formar una estructura denominada **grana**.

Proceso de reducción – oxidación (redox): Durante el proceso de fotosíntesis, la clorofila capta energía de la luz solar y la utiliza para la síntesis de compuestos ricos en energía, ATP y NADPH, los cuales serán utilizados posteriormente en la síntesis de carbohidratos de alto contenido energético. Para que la fotosíntesis se pueda llevar a

Para ser necesarias los siguientes elementos como materia prima: agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂).

La clorofila capta la energía de la luz solar, disocia el agua, liberando un oxígeno, mientras que el hidrógeno se combina con el dióxido de carbono y se producen moléculas de carbohidratos (azúcar). La reacción se puede resumir de la siguiente manera:



Luz y clorofila

En la fotosíntesis, la dirección del flujo de energía es inversa a la dirección del flujo de energía de la respiración celular.

Cuando el agua se disocia, los electrones del hidrógeno se transfieren a la clorofila, y estos a un conjunto de aceptores de electrones. Durante este proceso, la energía luminosa captada aumenta el nivel de energía de los electrones, una parte de esa energía se usa para reducir el dióxido de carbono y forma la glucosa.

BIBLIOGRAFÍA

Unidad I: Composición química de los elementos

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Castro, Roberto J. 1996. *Actualizaciones en Biología*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires Eudeba. 3ª edición.
- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.
- Ricardo Paniagua, et al. *Biología celular y molecular, 5e* Eds. McGraw Hill Education. 2024.
- Purves William, Sadava David, Orians Gordon, Heller Craig. (2009). *Vida. La Ciencia de la Biología*. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 8º edición.

Unidad II: Estructura celular

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Castro, Roberto J. 1996. *Actualizaciones en Biología*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires Eudeba. 3ª edición.
- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.
- Ricardo Paniagua, et al. *Biología celular y molecular, 5e* Eds. McGraw Hill Education. 2024.
- Purves William, Sadava David, Orians Gordon, Heller Craig. (2009). *Vida. La Ciencia de la Biología*. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 8º edición.

Unidad III: Estructura celular II

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Castro, Roberto J. 1996. *Actualizaciones en Biología*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires Eudeba. 3ª edición.
- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.
- Ricardo Paniagua, et al. *Biología celular y molecular, 5e* Eds. McGraw Hill Education. 2024.

Unidad IV: Núcleo

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Castro, Roberto J. 1996. *Actualizaciones en Biología*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires Eudeba. 3ª edición.

- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.
- Ricardo Paniagua, et al. *Biología celular y molecular, 5e* Eds. McGraw Hill Education. 2024.

Unidad V: Energía celular

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Castro, Roberto J. 1996. *Actualizaciones en Biología*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires Eudeba. 3ª edición.
- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.

Unidad VI: Metabolismo celular

- Audesirk, Teresa; Audesirk, Gerald. 2013. *Biología: La vida en la tierra*. México. Editorial Pearson. 9º edición.
- Curtis H, Barnes N. Sue. 2021. *Biología*. Buenos Aires. Ed Médica Panamericana. 8ª edición.
- Vilee, C.A. 1996. *Biología*. Mc Graw Hill/Interamericana D/México. S.A. 8ª edición.