

BIOLOGÍA

2º de Bachillerato



Asturias- sep 2005

(2ª edición)

TABLA DE MATERIAS

I BASE FISICO QUÍMICA DE LA VIDA.....	8
BIOELEMENTOS O ELEMENTOS BIOGÉNICOS.....	8
BIOMOLÉCULAS.....	9
GRUPOS FUNCIONALES.....	10
EL AGUA.....	10
ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA MOLÉCULA. POLARIDAD.....	11
ENLACES DE HIDROGENO:.....	11
COHESIVIDAD DEL AGUA.....	12
SOLUBILIDAD.....	13
IONIZACIÓN. REGULACIÓN DEL pH.....	14
GLÚCIDOS.....	15
CONCEPTO	15
MONOSACÁRIDOS.....	16
NATURALEZA QUÍMICA DE LOS MONOSACÁRIDOS.....	16
HEMIACETAL INTRAMOLECULAR Y CICLACIÓN DE LA MOLÉCULA.....	17
MONOSACÁRIDOS DE INTERÉS BIOLÓGICO.....	19
POLISACÁRIDOS.....	20
FUNCIONES:.....	21
LÍPIDOS.....	23
CONCEPTO.....	23
ÁCIDOS GRASOS.....	23
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS.....	24
PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS.....	24
ACILGLICÉRIDOS O GRASAS.....	25
CERAS.....	25
FOSFOLÍPIDOS.....	26
FOSFOGLICÉRIDOS (GLICEROFOSFOLÍPIDOS).....	26
ESFINGOLÍPIDOS.....	26
ESTEROIDES.....	27
FUNCIONES.....	27
CARÁCTER ANFIPÁTICO DE LOS LÍPIDOS. LÍPIDOS DE MEMBRANA.....	27
LOS PRÓTIDOS.	29
1. CONCEPTO DE PROTEÍNA.....	29
2. LOS AMINOÁCIDOS.....	29
2.1. Propiedades ópticas de los aminoácidos.....	30
2.3. Clasificación de los aminoácidos.....	30
2.4. El enlace peptídico.....	30

3. LOS PÉPTIDOS.....	31
4. ESTRUCTURA DE PROTEÍNAS.....	31
A) La estructura primaria.....	31
B) La estructura secundaria.....	32
-La alfa-hélice.....	32
-La hélice de colágeno.....	32
-La disposición beta o de lámina plegada.	32
C) Estructura terciaria.....	33
D) Estructura cuaternaria.....	34
5. PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS.....	35
* Solubilidad.	36
* Desnaturalización.....	36
* Especificidad.....	36
6. RELACIÓN ENTRE LA FORMA Y LA FUNCIÓN BIOLÓGICA DE LAS PROTEÍNAS CENTRO ACTIVO	36
Centro activo.....	36
7. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN FUNCIÓN DE SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA.....	37

II LAS CÉLULAS..... 39

CLASES DE CÉLULAS.....	39
ESTRUCTURA GENERAL DE LA CÉLULA EUCARIÓTICA.....	39
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LOS ORGÁNULOS CELULARES.....	41
FLUJO DE SUSTANCIAS ENTRE LA CÉLULA Y EL EXTERIOR.....	44
EL MEDIO INTERNO CELULAR.....	50
EL CENTROSOMA y LOS CENTRIOLOS.....	51
SISTEMAS DE MEMBRANAS DEL CITOPLASMA.....	53
EL RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO (RE)	54
EL APARATO DE GOLGI (AG).....	55
LOS LISOSOMAS.....	55
LOS PEROXISOMAS.....	56
LAS VACUOLAS.....	56
FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE MEMBRANAS.....	57
EL METABOLISMO CELULAR: GENERALIDADES.....	60
EL METABOLISMO: CONCEPTO.....	60
TIPOS DE METABOLISMO	60
LAS ENZIMAS. CONCEPTO DE CATÁLISIS.....	61
ESPECIFICIDAD DE LOS ENZIMAS.....	62
CONSTITUCIÓN QUÍMICA DE LAS ENZIMA Y MODO DE ACTUACIÓN.....	62
ALGUNAS COENZIMAS IMPORTANTES.....	63
FACTORES QUE CONDICIONAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.....	64
METABOLISMO: OBTENCIÓN DE ENERGÍA.....	66
PROCESOS QUE SE DAN EN LA FOTOSÍNTESIS.....	67

ECUACIÓN GLOBAL DE LA FOTOSÍNTESIS.....	67
CONSECUENCIAS DE LA FOTOSÍNTESIS.....	67
FASES DE LA FOTOSÍNTESIS.....	68
QUIMIOSÍNTESIS.....	77
OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN LAS CÉLULAS VEGETALES Y ANIMALES.....	78
LA RESPIRACIÓN CELULAR.....	78
CARACTERÍSTICAS Y SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA GLUCOLISIS.....	79
EL CATABOLISMO AERÓBICO (RESPIRACIÓN AEROBIA).....	81
MITOCONDRIAS.....	81
DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DEL ÁCIDO PIRÚVICO.....	82
LA CADENA RESPIRATORIA. CONCEPTO Y OBJETIVOS.....	86
LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS.....	87
III FLUJO DE INFORMACIÓN	92
EL NUCLEO CELULAR.....	92
1 NUCLEO INTERFÁSICO	92
ESTRUCTURA DEL NUCLEO INTERFÁSICO.....	92
D.1) estructura química de los ácidos nucleicos:.....	93
LOS NUCLEÓTIDOS.....	95
D.2) LOS ÁCIDOS NUCLEICOS.....	95
ESTRUCTURA BIOLÓGICA DEL DNA: Doble hélice, cadenas complementarias y antiparalelas.....	95
ÁCIDO RIBONUCLEICO (RNA o ARN).....	99
1.2 EL DNA COMO PORTADOR DEL MENSAJE O INFORMACION GENETICA:	102
1.3 LA DUPLICACION DEL ADN.....	103
1.4 EXPRESIÓN DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA.....	106
1.5 El Código genético.....	110
A) CARACTERÍSTICAS DEL CODIGO:.....	110
1.6 REGULACIÓN DE LA ACCIÓN DE LOS GENES: HIPÓTESIS DEL OPERÓN.....	111
2 EL NÚCLEO EN DIVISIÓN.....	113
2.1 LOS CROMOSOMAS.....	113
2.2 EL CICLO CELULAR.....	115
A) MITOSIS.....	116
2.3 MEIOSIS.....	120
SIGNIFICADOS A NIVEL GENETICO, CELULAR Y DE ORGANISMO DE LA MITOSIS Y DE LA MEIOSIS.....	125
B.- REPRODUCCION SEXUAL.....	126
B.1. ETAPAS DE LA ESPERMATOGÉNESIS Y DE LA OVOGÉNESIS EN LOS METAZOOS.....	126
ESPERMATOGENESIS: Formación de los espermatozoides en los testículos de los machos.....	126
OVOGENESIS: Formación de los óvulos en los ovarios de las hembras.....	127
C.-CICLOS BIOLÓGICOS. Según el momento en que se produce la meiosis, se diferencian tres tipos de ciclos biológicos:.....	128

3 MUTABILIDAD DEL MATERIAL GENÉTICO:.....	129
3.1 MUTACIONES.....	129
3.2 AGENTES MUTAGENOS.....	133
3.3 MUTACIONES Y EVOLUCIÓN.....	133
3.4 CANCER: ENFERMEDAD GENÉTICA.....	134
4 GENÉTICA APLICADA.....	135
4.1 INGENIERÍA GENÉTICA.....	135
4.2. LA INGENIERIA GENÉTICA Y LA TERAPIA DE ENFERMEDADES HUMANAS.....	135
4.2. INGENIERÍA GENÉTICA Y LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL.....	136
4.3 GENOMA HUMANO.....	137
4.4 RIESGOS E IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA.....	137
5. LAS LEYES DE LA HERENCIA.....	138
5.1.- CONCEPTOS BÁSICOS.....	138
5.2.- LEYES DE MENDEL.....	140
5.3.- GENÉTICA HUMANA.....	143
IV MICROBIOLOGÍA.....	146
1. CONCEPTO Y TIPOS DE MICROORGANISMOS.....	146
2. BACTERIAS: MORFOLOGÍA Y FISIOLÓGIA BACTERIANA.....	146
MORFOLOGÍA Y FISIOLÓGIA BACTERIANA.....	148
OBSERVACION DE MICROORGANISMOS. TINCIÓN DE GRAM. : FUNDAMENTO	149
FUNCIONES DE NUTRICIÓN EN LAS BACTERIAS.....	151
FUNCIONES DE RELACIÓN EN LAS BACTERIAS.....	152
FUNCIONES DE REPRODUCCIÓN Y GENÉTICA BACTERIANA.....	152
MICROORGANISMOS SIN ORGANIZACIÓN CELULAR.....	155
3. VIRUS.....	155
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS VIRUS.....	155
CÁPSIDA	156
ÁCIDO NUCLEICO.....	157
MECANISMO DE REPLICACIÓN: CICLO VITAL.....	157
4.VIROIDES:	160
PRIONES:	161
5. PROTOZOOS.....	163
6. ALGAS MICROSCÓPICAS UNICELULARES.....	164
7. HONGOS MICROSCÓPICOS.....	164
APLICACIONES Y SU PAPEL EN EL ECOSISTEMA.....	165
8. INTERVENCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS EN LAS TRANSFORMACIONES O CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.....	165
9. LOS MICROORGANISMOS COMO AGENTES DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS.....	168
V BIOTECNOLOGÍA.....	170
10. BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE.....	170
11. BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA MEJORA DE LA SALUD.....	171

12. BIOTECNOLOGÍAS DE LOS ALIMENTOS..... 172

VI INMUNOLOGÍA..... 174

1.- CONCEPTO DE INMUNIDAD..... 174

2.- EL SISTEMA INMUNE..... 174

3.- DEFENSAS DEL ORGANISMO FRENTE A LA INFECCIÓN..... 174

 3A.- RESPUESTA INESPECÍFICA..... 175

 3B.- RESPUESTA INMUNOLÓGICA ESPECÍFICA..... 176

4.- LA RESPUESTA INMUNOLÓGICA PRIMARIA Y SECUNDARIA..... 182

5.- TIPOS DE INMUNIDAD..... 183

6.- AUTOINMUNIDAD Y ENFERMEDADES AUTOINMUNES..... 184

7.-FENÓMENOS DE HIPERSENSIBILIDAD. ALERGIAS..... 184

8.- RECHAZO DE TRASPLANTES..... 185

I BASE FÍSICO QUÍMICA DE LA VIDA

BIOELEMENTOS O ELEMENTOS BIOGÉNICOS

Son los elementos que forman parte de los seres vivos. Los podemos clasificar en:

BIOELEMENTOS PRIMARIOS, C, H, N, O, P, S. Representan alrededor del 96% del total, por lo que constituyen la práctica totalidad de las moléculas biológicas.

Estos son los elementos idóneos para formar los edificios moleculares de los seres vivos por tener en común las siguientes características:

Encontrarse en las capas más externas de la Tierra (corteza, atmósfera e hidrosfera).

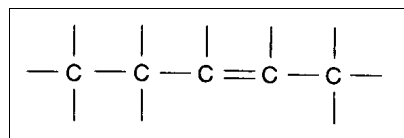
La mayoría de los compuestos químicos formados por estos elementos presentan polaridad por lo que fácilmente se disuelven en el agua, lo que facilita su incorporación o su eliminación.

El C y el N presentan la misma afinidad para unirse tanto al Oxígeno como al hidrógeno, es decir pasan con la misma facilidad del estado oxidado (CO_2 , HNO_3) al reducido (CH_4 , NH_3). Esto es de gran importancia en los procesos de oxidación reducción que son la base de muchas reacciones químicas.

El C, H, O y N (por tener de 4 a 6 electrones en su última capa) presentan variabilidad de valencias y por ello forman con facilidad enlaces covalentes. A su vez son los elementos más pequeños (tienen pesos atómicos bajos) capaces de formar enlaces covalentes estables (la estabilidad de un enlace covalente está en relación inversa con el tamaño del átomo).

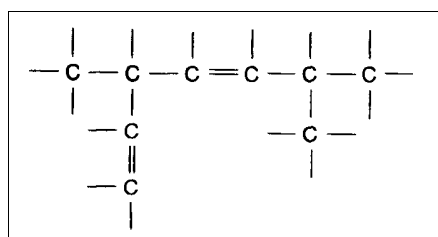
Esto es lo que permite a los átomos de carbono establecer con facilidad enlaces covalentes sencillos, dobles o triples entre ellos o con los de hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, etc., dando lugar a cantidad de grupos funcionales que pueden reaccionar entre sí y originar nuevas moléculas orgánicas con diversos grupos funcionales. Todo ello resulta útil para las continuas transformaciones que sufre la materia de los seres vivos en su metabolismo.

Por otro lado, los enlaces carbono-carbono son estables y forman largas y variadas cadenas carbonadas:



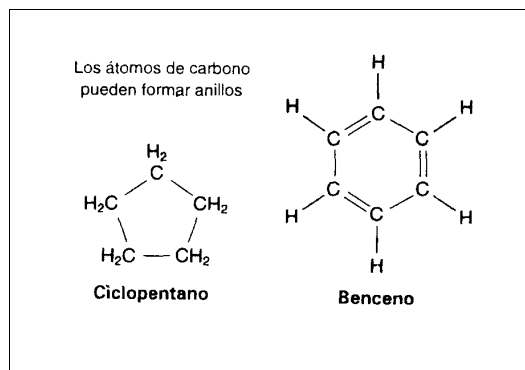
. Cadenas lineales con todo tipo de enlaces:

. Cadenas ramificadas:

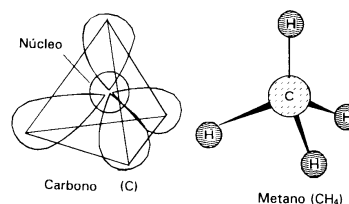


Cadenas cíclicas, cuando los extremos de la cadena aparecen unidos

entre sí dando origen a estructuras cíclicas o anillos.



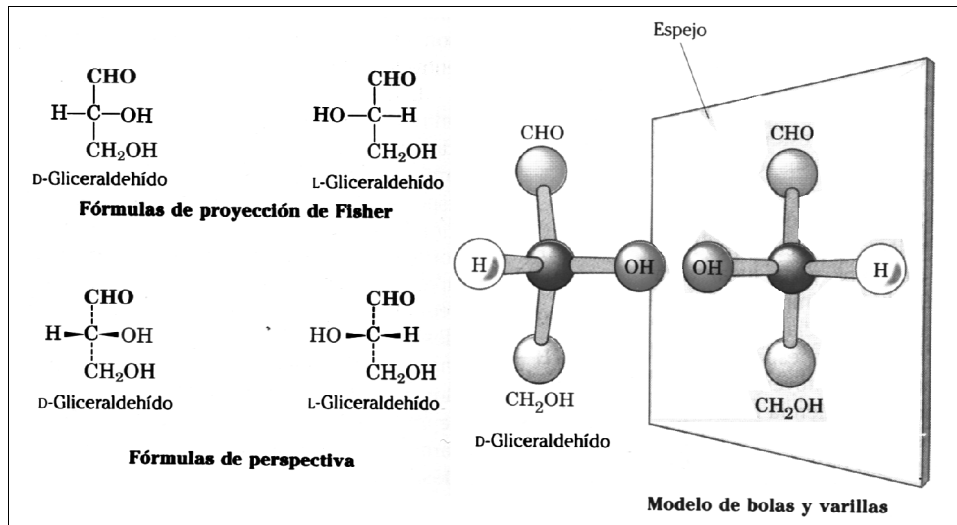
Además, la estructura tetraédrica de los compuestos de carbono proporciona a las moléculas una configuración tridimensional de la que derivan sus múltiples funciones.



Debido a ello cuando a un átomo de carbono satura sus 4 valencias con radicales distintos se dice que es un carbono asimétrico, y aquellos

compuestos que los posean presentarán estereoisomería, esto es que pueden presentar una misma forma estructural pero diferente disposición espacial de los átomos unidos a dichos carbonos asimétricos.

Por tanto las moléculas orgánicas pueden presentarse en dos configuraciones, que son entre sí imágenes especulares



y que se designan, por convenio, como serie D y serie L dependiendo de la distribución espacial de sus grupos funcionales.

En la naturaleza la gran mayoría de los glúcidos son de la serie D y los aminoácidos de la serie L

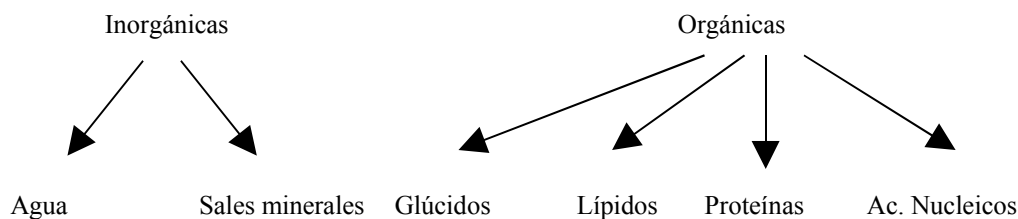
Bioelementos secundarios: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl En medio acuoso se encuentran siempre ionizados. Aunque se encuentran en menor proporción que los primarios, son imprescindibles para los seres vivos.

Oligoelementos o elementos vestigiales: se encuentran en cantidades inferiores al 0,1%. Son imprescindibles para la vida aunque no todos los seres vivos tienen los mismos.

Como oligoelementos más universales podemos citar, Fe, Cu, Zn, Mn, I, Ni, Co.

BIOMOLÉCULAS

Lo normal es que los bioelementos no se encuentren libres sino que se unen entre sí mediante enlaces dando lugar a las biomoléculas:



Los enlaces son las fuerzas de atracción que mantienen unidos a los átomos. En el caso de las biomoléculas pueden ser fuertes (covalente) y débiles. (no covalentes)

Los átomos de las moléculas biológicas suelen estar unidos por enlaces covalentes (formados al compartir entre ellos pares de electrones) constituyendo las moléculas sencillas o **monómeros** (glucosa, aminoácidos etc.). Estos monómeros, a su vez, se unen mediante enlaces también covalentes formando los polímeros.

Los **polímeros** son moléculas complejas formadas por la unión de muchos **monómeros** (almidón, proteínas, etc.).

Sin embargo, el plegamiento de las macromoléculas, la unión de los substratos a las enzimas, las uniones antígenoanticuerpo, etc., es decir todas las interacciones moleculares en los sistemas biológicos, suponen la función integrada de: enlaces electrostáticos, enlaces hidrogeno, fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas, que son enlaces no covalentes.

Con estos enlaces químicos débiles las moléculas orgánicas pueden interaccionar con otras moléculas, aunque estas fuerzas no covalentes sean de alcance reducido.

Típicamente los enlaces químicos débiles tienen una fuerza 20 veces inferior a la de un enlace covalente, por lo que sólo son suficientemente fuertes para fijar dos moléculas cuando se forman simultáneamente un número elevado de ellos.

GRUPOS FUNCIONALES

Grupo Funcional	Formula General	Nombre Familia	Ejemplo	Nombre Compuesto
OH Hidroxilo	$R-CH_x-OH$	Alcoholes	CH_3CH_2OH	Etanol
CHO Carbonilo	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$	Aldehidos	CH_3CHO	Etanal
CCOC Carbonilo	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-R$	Cetonas	CH_3COCH_3	Propanona
COOH Ácido o Carboxilo	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH$	Ácidos	CH_3COOH	Ácido Etanoico
NH_2 Amino	$R-NH_2$	Aminas	$CH_3CH_2NH_2$	Etilamina

EL AGUA

La sustancia más abundante en las células no es especial ya que cubre las 3/4 partes de la superficie terrestre.

El agua constituye el 70% aproximadamente en peso de las células.

La cantidad de agua depende de las especies: las acuáticas poseen un mayor porcentaje que las terrestres, por ejemplo, en las medusas un 95%. En el hombre depende de la edad, en los individuos jóvenes existe mayor cantidad que en los adultos (carne de ternera más blanda que la de vaca), y también del órgano y del tejido, a mayor actividad metabólica mayor proporción de agua (la corteza cerebral 90% y el tejido adiposo 1020%).

En los seres vivos localizamos el agua bajo dos formas:

agua intracelular: 2/3 del total de agua presente (aproximadamente)

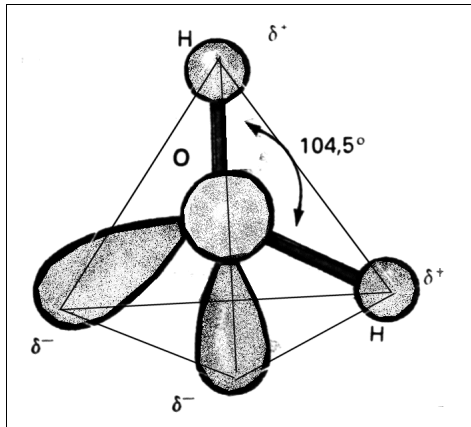
agua extracelular: 1/3 del total. Esta constituida por el agua intersticial (en los tejidos bañando a las células) y el agua circulante (sangre, linfa, savia, etc.).

En los seres unicelulares será su medio ambiente.

La vida en este planeta empezó en el mar y las condiciones que reinaban en aquel ambiente primitivo imprimieron un sello permanente en la química de la materia viva. Todos los organismos han sido diseñados alrededor de las propiedades características del agua, tales como su carácter polar, sus enlaces hidrogeno, su elevado punto de fusión, ebullición, calor específico y su elevada tensión superficial.

ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA MOLÉCULA. POLARIDAD

Las propiedades fisicoquímicas del agua son consecuencia de su estructura química y de ellas derivan sus funciones biológicas. En la molécula del agua, el átomo de oxígeno comparte un par de electrones con cada uno de los átomos de hidrógeno siendo una molécula angulada.



Así, el núcleo del átomo de oxígeno, debido a su mayor electronegatividad, desplaza parcialmente a las nubes electrónicas que constituyen los enlaces hacia su núcleo dejando a los núcleos de los átomos de hidrógeno con una pequeña carga parcial positiva (δ^+); mientras que existen regiones débilmente negativas (δ^-) cerca del átomo de oxígeno, en los vértices de un tetraedro hipotético.

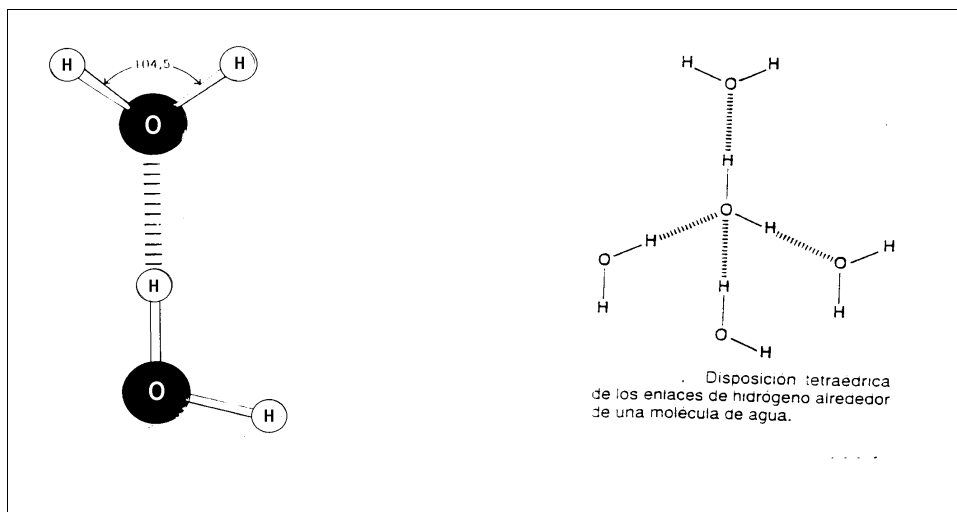
Por ello, la molécula de agua tiene en su estructura unas zonas con mayor densidad electrónica y otras con un déficit electrónico; lo que hace que sea una molécula dipolar.

ESTRUCTURA QUÍMICA DEL AGUA SUBSTANCIA.

ENLACES DE HIDROGENO:

En un enlace de hidrógeno un átomo de hidrógeno queda compartido con otros dos átomos, a uno de ellos el hidrógeno está ligado covalentemente, mientras que el otro átomo se une por fuerzas electrostáticas (δ^+) (δ^-).

Como consecuencia de la estructura dipolar, las moléculas de agua pueden interaccionar unas con otras. Esta interacción se produce por atracción electrostática entre la carga parcial negativa del átomo de oxígeno de una molécula de agua y la carga parcial positiva localizada sobre los átomos de hidrógeno de otra molécula. Estas uniones se denominan enlaces de hidrógeno.



Debido a la ordenación de los electrones alrededor de los átomos de oxígeno, cada molécula de agua es potencialmente capaz de unirse mediante enlaces de hidrógeno a otras moléculas de agua, lo que permite que se formen

estructuras de tipo reticular. Estos enlaces de hidrógeno entre las moléculas se forman y escinden a una gran velocidad, aunque su estabilidad disminuye al elevarse la temperatura.

Los enlaces de hidrógeno mantienen unidas a las moléculas de agua entre sí, con lo que su peso molecular aumenta, y por ello, a una temperatura a la que otras moléculas químicamente comparables (H_2S o CH_4) están en estado gaseoso, el agua se encuentra en estado líquido.

Como consecuencia, el agua se emplea como medio fluido de transporte entre las diferentes partes de un organismo, y como medio lubricante en órganos de movimiento.

COHESIVIDAD DEL AGUA.

Es debida a las potentes fuerzas intermoleculares en el agua líquida originadas por la polaridad eléctrica de sus moléculas, que a su vez, es consecuencia de la ordenación específica de los electrones en sus átomos de hidrógeno y de oxígeno que hacen que interaccionen entre sí las moléculas de agua por medio de enlaces de hidrógeno. A su vez estas moléculas interaccionan con otras moléculas polares (adhesión), lo que hace al agua responsable del fenómeno de la capilaridad que permite la ascensión del agua a través de conductos de poco diámetro, como ocurre con la subida de la savia bruta desde las raíces a las hojas.

Las fuerzas cohesivas debidas a la elevada tendencia de la molécula de agua a unirse a otras moléculas vecinas, son las que convierten al agua en un líquido prácticamente incompresible, capaz de dar volumen y turgencia a muchos seres vivos, por ejemplo el esqueleto hidrostático de las plantas.

Además esta naturaleza cohesiva del agua es responsable de muchas de sus propiedades, tales como su elevada tensión superficial, su elevado calor específico y su elevado punto de ebullición.

Elevada tensión superficial; esta propiedad permite deformaciones en el citoplasma celular, causa de los movimientos internos de la célula.

Elevado calor específico; así al comunicar una cierta cantidad de calor, la temperatura se eleva poco y, de la misma forma, al liberar energía por enfriamiento, la temperatura desciende mas lentamente que en otros líquidos.

Esto permite que el agua actúe como un amortiguador térmico, manteniendo la temperatura del organismo relativamente constante, a pesar, de las fluctuaciones ambientales.

De esta forma se evita la alteración de algunas moléculas, fundamentalmente proteínas, muy sensibles a los cambios térmicos.

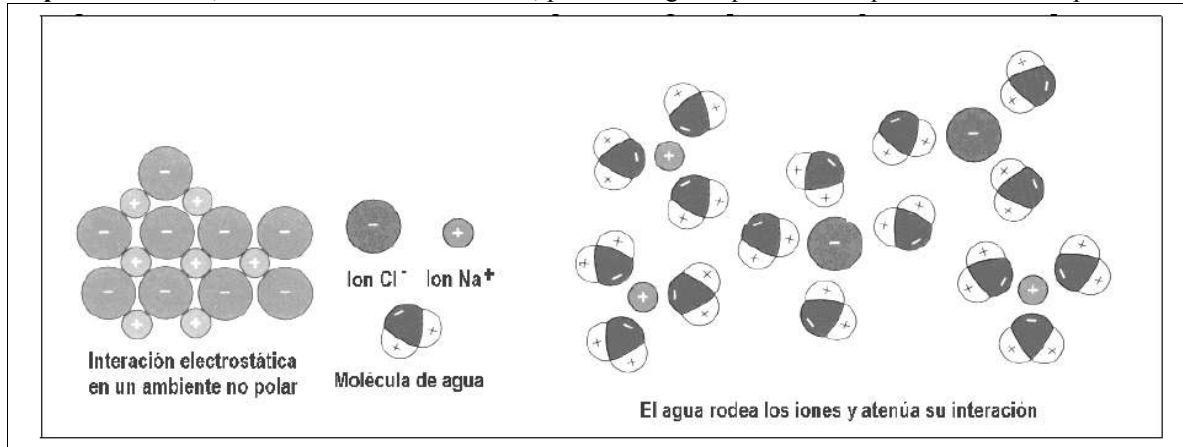
Elevado calor de vaporización; la evaporación de agua precisa una considerable cantidad de energía pues es necesario romper los enlaces de hidrógeno existentes en la fase líquida.

Esta propiedad, junto con la anterior, participa en el proceso de amortiguación térmica, pues se consigue una disminución de la temperatura de un organismo al perder una cantidad de calor que es empleada en la evaporación del agua. La sudoración es un método fisiológico de refrigeración, basado en esta propiedad.

SOLUBILIDAD.

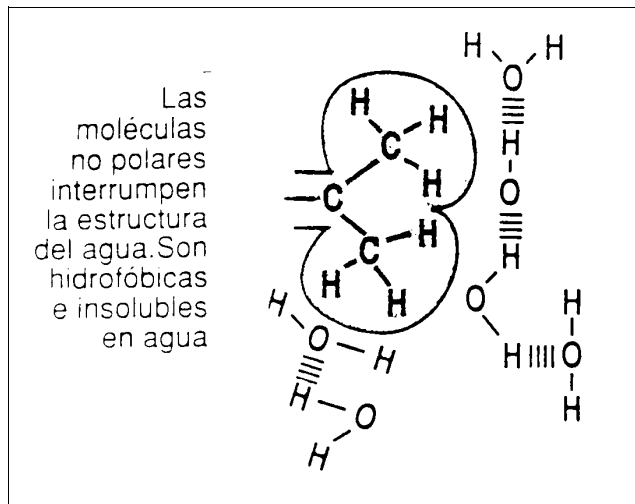
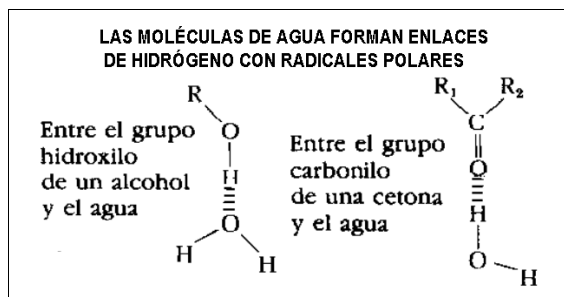
El agua por su naturaleza dipolar posee una constante dieléctrica elevada lo que hace que sea un buen disolvente para gran cantidad de compuestos:

Compuestos iónicos, como las sales cristalizadas; por ser el agua dipolar se interpone entre los compuestos iónicos



disminuyendo la fuerza de atracción de los iones y provocando su separación y por tanto su disolución.

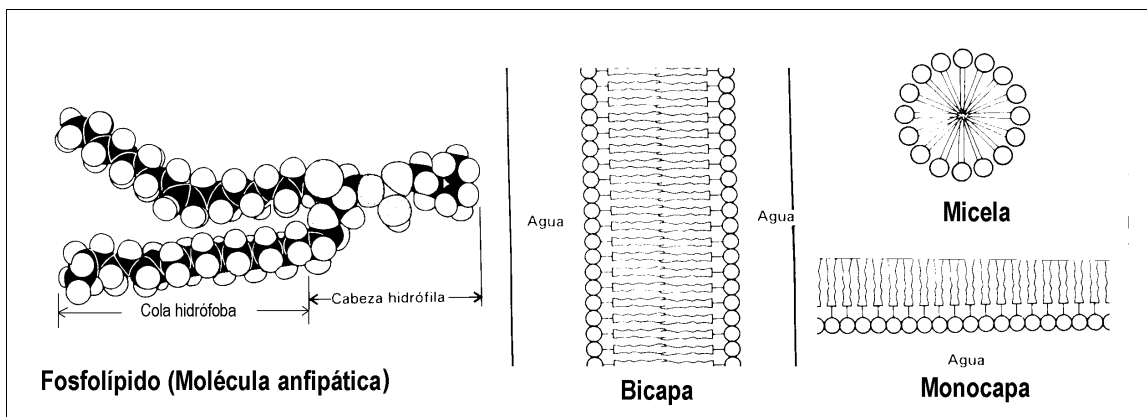
Compuestos orgánicos neutros que poseen grupos funcionales polares (hidroxilo, aldehído cetona, carboxilo, amina, amida, sulfhidrilo); son solubles en el agua, pues no



interrumpen su estructura al formar enlaces de hidrógeno con ella. A estos compuestos se les llama hidrófilos o polares.

Compuestos orgánicos no polares (radicales alifáticos); son insolubles en agua porque interrumpen su estructura, al no formar enlaces de hidrógeno con ella. A estos compuestos se les llama hidrófobos o apolares.

Substancias anfipáticas (poseen a la vez grupos hidrófilos e hidrófobos); son dispersadas por el agua. Por ejemplo, un ácido graso de cadena larga forma unos agregados denominados micelas, en las que los grupos carboxilo polares



están en contacto con el agua y forman enlaces hidrógeno con ella, mientras que las cadenas hidrocarbonadas insolubles, hidrófobas y apolares se ocultan del medio acuoso mediante interacciones hidrofóbicas.

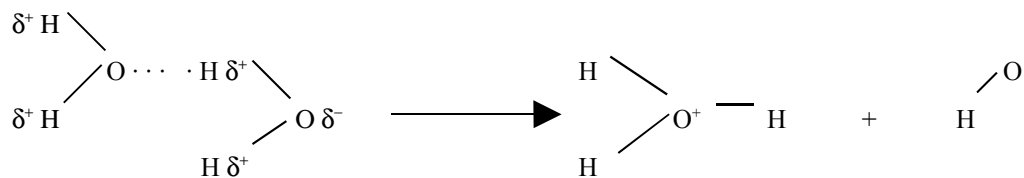
Otra manera de disponerse las sustancias anfipáticas cuando se añaden en pequeña cantidad al agua, es formando una monocapa en la superficie, y las cabezas polares se disponen en contacto con la superficie de ésta. Sobre esta monocapa puede disponerse una segunda capa con las colas apolares sobre la primera, formando una bicapa lipídica. En ella las cabezas polares forman enlaces de hidrogeno con el agua y los grupos apolares se mantienen unidos por interacciones hidrofóbicas.

De todo ello, se deduce, que una de las primordiales funciones del agua es la de actuar como disolvente de la mayoría de las moléculas y dado que es condición imprescindible, que para que una reacción química tenga lugar, que los reactivos se encuentren disueltos, podemos deducir que el agua, al permitir la disolución de los compuestos biológicos, actúa como el medio donde se realizan todas las reacciones metabólicas características de la actividad vital.

Así mismo, sirve de vehículo de entrada y salida de las distintas sustancias disueltas en ella, a través de la membrana, en la célula.

IONIZACIÓN. REGULACIÓN DEL pH.

Una pequeña parte de las moléculas de agua pueden ionizarse al unirse un átomo de hidrógeno de una molécula al oxígeno de otra molécula, rompiendo su unión con la primera.



Aparecen así dos iones de carga opuesta: H_3O^+ y HO . Habitualmente, los iones H_3O^+ se representan con H^+ .

En el agua destilada la proporción de moléculas ionizadas es muy baja.

$$\text{A } 25^\circ \text{C } [\text{H}^+] \times [\text{HO}] = 1 \times 10^{-14}$$

A este producto se le denomina producto iónico del agua.

-ACIDEZ Y BASICIDAD. pH.

Al disolver un ácido en agua aumenta la concentración de H^+ , pues cede estos iones. Por el contrario, las bases captan H^+ del medio, por lo cual éstos disminuyen.

Según el producto iónico del agua, si aumenta la concentración de uno de los iones, disminuye la del otro.

Para describir la abundancia relativa de los iones presentes en la disolución se emplea el término de pH, que se define como el logaritmo inverso de la concentración de H^+

La escala de pH varía entre 1 y 14, correspondiendo el 7 a la neutralidad. Valores por debajo de este corresponden a disoluciones de sustancias ácidas, y si están comprendidos entre 7 y 14, la disolución será básica.

En los seres vivos existen disoluciones con un pH determinado, casi siempre próximo a la neutralidad.

-ACCIÓN REGULADORA DEL pH. SISTEMAS TAMPÓN.

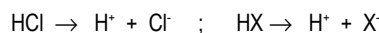
Para que los fenómenos vitales puedan desarrollarse con normalidad es necesario que la concentración de H^+ sea mas o menos constante. Pero en las reacciones que tienen lugar en el metabolismo se están liberando continuamente productos o sustancias tanto ácidas como básicas que tenderían a variar la concentración de H^+ , sino fuera por que los seres vivos disponen de mecanismos químicos que se oponen automáticamente a las variaciones de pH.

En estos mecanismos denominados sistemas tampón, intervienen de forma importantísima las sales minerales, que de esta manera desempeñan un papel de reguladoras del equilibrio ácido-base.

Como quiera que es mas frecuente la desviación, en los seres vivos hacia el lado ácido (pH inferior a 7), que al básico, porque durante el metabolismo hay una mayor cantidad de sustancias que liberan protones, estudiaremos un tampón que actúe frente al exceso de acidez.

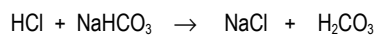
El principal tampón extracelular en la sangre y líquidos intersticiales de los vertebrados, es el tampón del bicarbonato formado por el H_2CO_3 y el $NaHCO_3$

Así por ejemplo supongamos que un organismo se ve sometido a un exceso de ácidos, entonces se incrementaría considerablemente la concentración de protones, en virtud de la disociación



y la igualdad $[H^+] = [HO^-]$ desaparecería

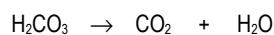
Para evitar esto entrará en funcionamiento el tampón y ocurre lo siguiente:



la sal es neutra y aunque se disocie no liberará protones y además habitualmente es expulsada por la orina:



El ácido carbónico es un ácido débil se descompone con rapidez en:



De esta forma un aumento de la concentración de hidrogeniones en los medios biológicos ocasiona, por desplazamiento del equilibrio, un aumento en la concentración del ácido carbónico, y este dará lugar a una mayor concentración de CO_2 , que será expulsado por vía respiratoria, modificando la frecuencia de la ventilación en las estructuras respiratorias.

En las estructuras biológicas, por otra parte, un descenso de H^+ se traducirá en un gasto de ácido carbónico, obtenido a partir del CO_2 modificando también el ritmo de ventilación.

GLÚCIDOS**CONCEPTO**

Son biomoléculas orgánicas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno.

Químicamente son *polihidroxialdehidos* o *polihidroxicetonas*, es decir compuestos que poseen varios grupos hidroxilo (OH) y un grupo carbonilo, bien aldehido (CHO) o bien cetona ($C=O$).

También se incluyen en este grupo moléculas derivadas, con grupos amina, carboxilos, etc, que poseen una gran semejanza química con los glúcidos más comunes.

Atendiendo a su complejidad se clasifican en:

A) **Monosacáridos u osas** Son los más sencillos. No hidrolizables. Poseen de 3 a 7 átomos de carbono. Constituyen los monómeros a partir de los cuales se originan los demás glúcidos.

B) **Ósidos** formados por la unión de varios monosacáridos mediante enlaces "Oglucosídicos", pudiendo poseer en su molécula otros compuestos no glucídicos. Son hidrolizables, descomponiéndose en los monosacáridos y demás compuestos que los constituyen. A su vez se dividen en:

1) **Holósidos** constituidos exclusivamente por monosacáridos. Si el número de monosacáridos está comprendido entre 2 y 10, se denominan *Oligosacáridos*, entre ellos cabe destacar a los disacáridos (dos osas) y trisacáridos (tres osas). Pero, si el número de monosacáridos es superior a 10 se llaman *Polisacáridos* que pueden estar formados por un solo tipo de osas (*homopolisacáridos*), o por dos o más tipos (*heteropolisacáridos*).

2) **Heterósidos** formados por osas y otros compuestos no glucídicos de naturaleza variada.

MONOSACÁRIDOS

Como ya se ha dicho, son los glúcidos más sencillos, no hidrolizables y constituyen los monómeros de los demás glúcidos.

Propiedades físicas son sólidos, cristalinos, incoloros o blancos, dulces y solubles en agua. Su solubilidad, se debe a que tanto los radicales hidroxilo, como el grupo carbonilo son polares y establecen por ello enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua también polares.

Propiedades químicas Poseen poder reductor frente a determinadas sustancias (por ejemplo el licor de Fehling), debido a la presencia del grupo carbonilo que puede oxidarse a ácido con facilidad por disoluciones alcalinas de plata o cobre. Esta propiedad es utilizada para detectar su presencia en medios biológicos.

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS MONOSACÁRIDOS

Químicamente están constituidos por una sola molécula de polihidroxialdehído o polihidroxicetona que posee de 3 a 7 átomos de carbono.

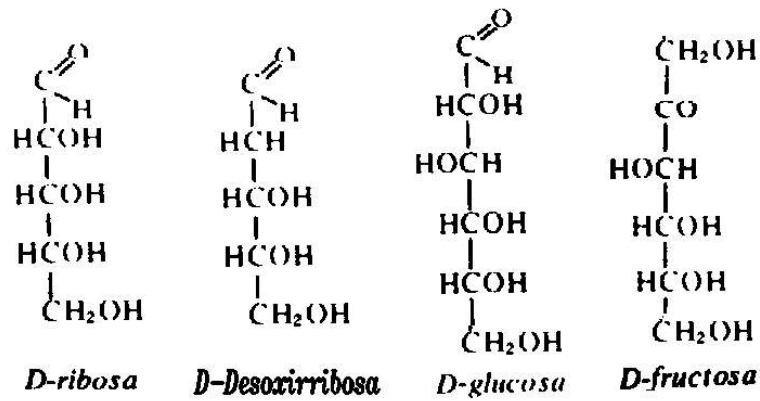
Su fórmula empírica responde a $(CH_2O)_n$.

La estructura básica de los monosacáridos es una cadena de carbonos no ramificada en la que dichos átomos se encuentran unidos entre sí mediante enlaces covalentes sencillos y todos ellos son portadores de un grupo hidroxilo (OH) y de un radical de hidrógeno (H), excepto uno que forma parte de un grupo carbonilo, bien de tipo aldehído o cetona.

Los monosacáridos que poseen un grupo aldehído se denominan *aldosas* y siempre se encuentra en uno de los carbonos terminales de la molécula. Los que tienen un grupo cetona reciben el nombre de *cetosas* y siempre se localiza en un carbono intermedio.

Dependiendo de que posean 3, 4, 5, 6 o 7 átomos de carbono, se denominan: *triosas*, *tetrosas*, *pentosas*, *hexosas* y *heptosas*, respectivamente.

Si tenemos en cuenta ambos criterios para nombrarlos se antepone al sufijo "osa" el prefijo "aldo" o "ceto" para indicar si poseen función aldehído o cetona, seguido de "tri", "tetra", "penta", "hexa" o "hepta", para hacer referencia al número de átomos de carbono que posean. Así por ejemplo un monosacárido de seis átomos de carbono con función aldehído será una aldohexosa. Ejemplos:



HEMIACETAL INTRAMOLECULAR Y CICLACIÓN DE LA MOLÉCULA

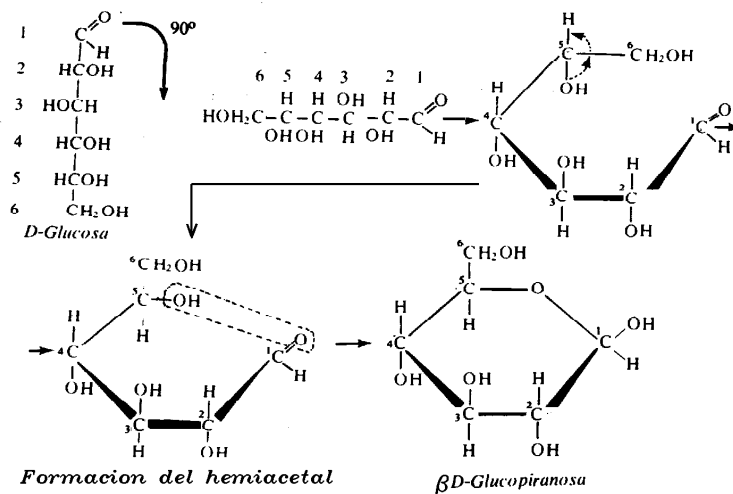
Las moléculas de monosacáridos pueden presentar cadenas abiertas, como las que hemos visto hasta ahora, o cerradas, formando ciclos.

En las tetrosas, la forma abierta es la que corresponde a su estado en la célula.

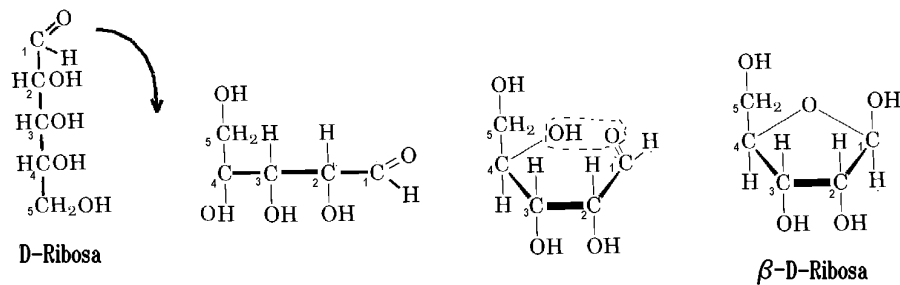
Por el contrario, las pentosas y hexosas, cuando se encuentran en disolución acuosa, se comportan como si poseyeran un carbono asimétrico más. Esto es debido a que se forman cadenas cerradas al reaccionar los grupos carbonilo con las moléculas de agua, apareciendo, por tanto, otro carbono asimétrico que presenta un OH llamado hemiacetalico. Por ello existen dos formas distintas en la naturaleza, que por convenio se denominan α y β , según que el OH hemiacetalico se encuentre a la derecha o a la izquierda del nuevo carbono asimétrico.

Estas moléculas se representan espacialmente:

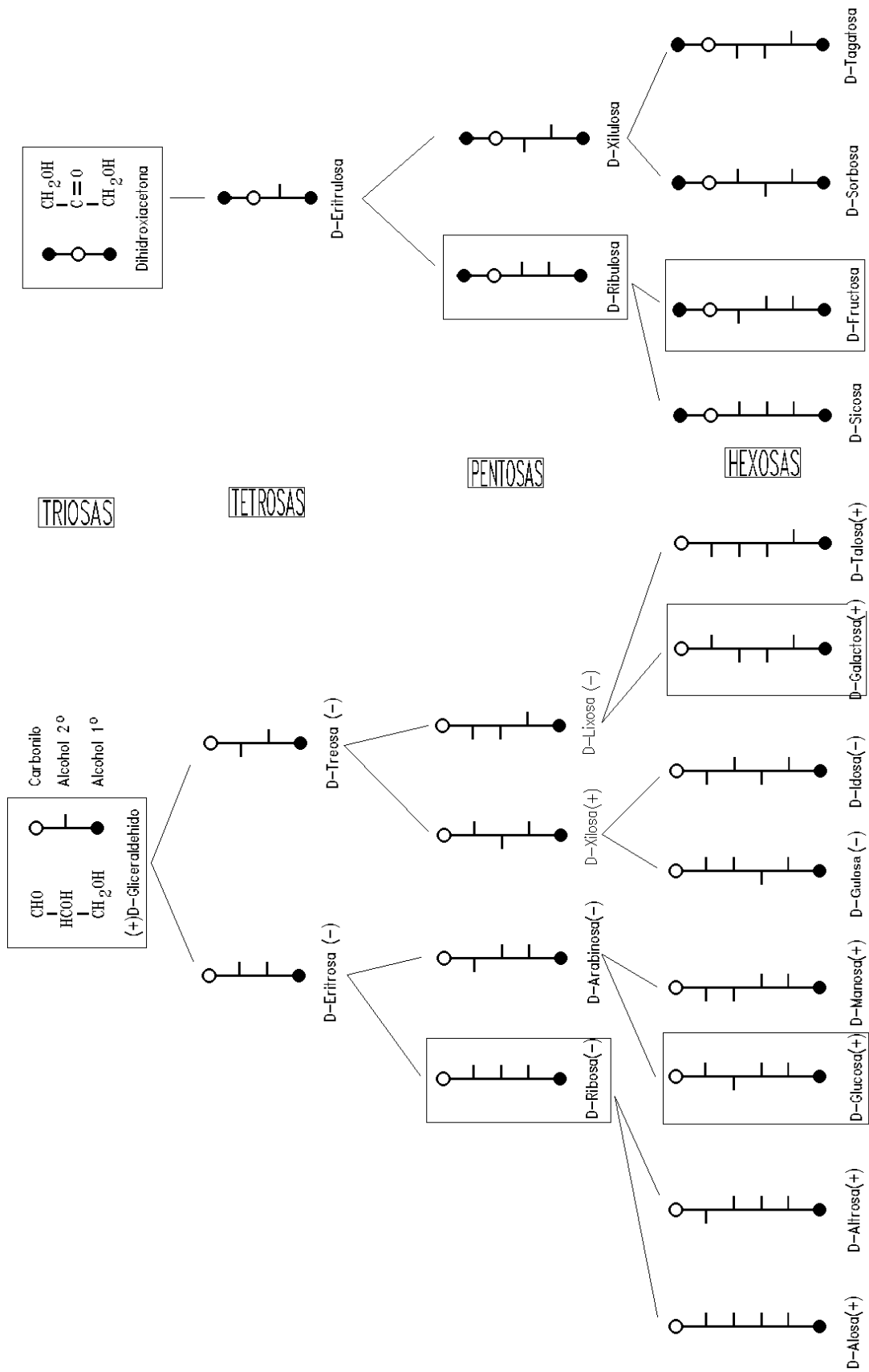
Ciclación glucosa



Ciclación ribosa



Estos compuestos, por lo anteriormente explicado serán α ó β , según el OH hemiacetálico este representado hacia abajo o arriba del plano.



MONOSACÁRIDOS DE INTERÉS BIOLÓGICO

RIBOSA Aldopentosa. Forma parte de la estructura de los RNA, así como de nucleótidos capaces de transferir energía, como por ejemplo el ATP.

DESOXIRIBOSA Es un monosacárido que se origina a partir de la ribosa, por pérdida del oxígeno del C 2. Forma parte de la estructura del DNA.

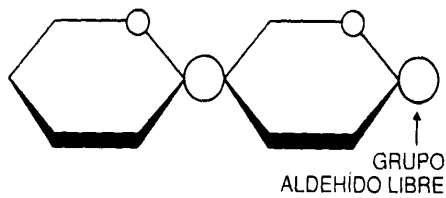
GLUCOSA Aldohexosa. Recibe el nombre de azúcar de uva por encontrarse de forma libre en este fruto. Puede encontrarse libre como tal glucosa o formar parte de oligosacáridos y polisacáridos. En nuestra sangre, y procedente de la digestión de los glúcidos que tomamos en el alimento, se encuentra en la proporción de un gramo por litro. Es utilizada como fuente de energía por todas las células, pues es el material energético de uso más inmediato.

FRUCTOSA cetohehexosa. Se encuentra en la miel y en la mayoría de los frutos acompañando a la glucosa. En el hígado se transforma en glucosa, por lo que posee para nuestro organismo el mismo valor energético que ésta.

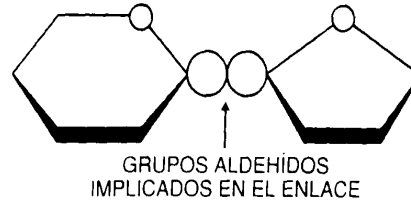
OLIGOSACÁRIDOS

Son glúcidos formados por la unión de dos a diez monosacáridos. Los más abundantes en la naturaleza son los **DISACÁRIDOS** constituidos por la unión de dos monosacáridos, generalmente hexosas, mediante un enlace "Oglucosídico".

DISACÁRIDO REDUCTOR

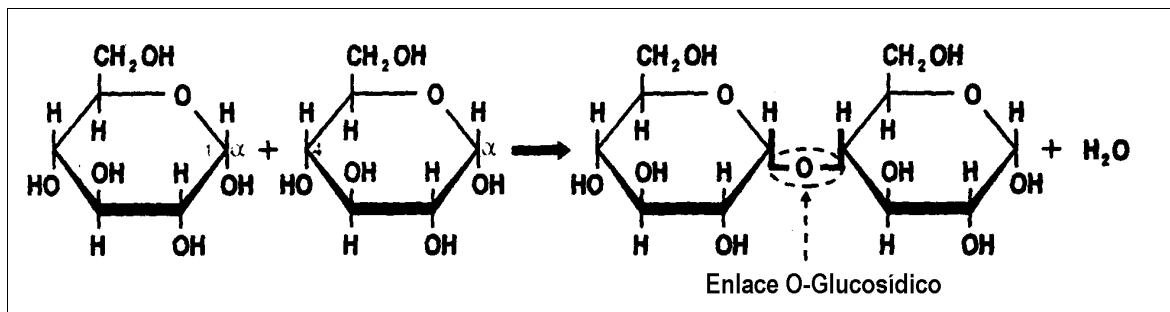


DISACÁRIDO NO REDUCTOR



Este enlace puede ser α ó β , dependiendo de la configuración del primer monosacárido.

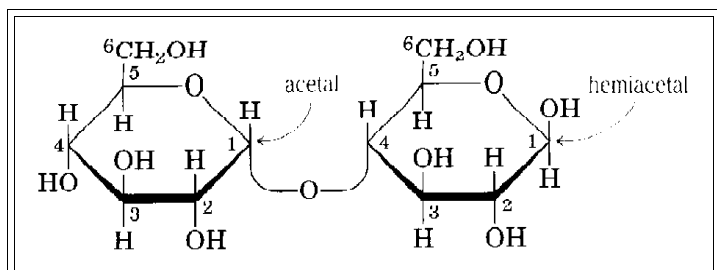
Los disacáridos son dulces, solubles en agua, cristalizables y por hidrólisis se descomponen en sus monosacáridos constituyentes.



Entre los disacáridos de mayor interés biológico, se pueden citar como ejemplo

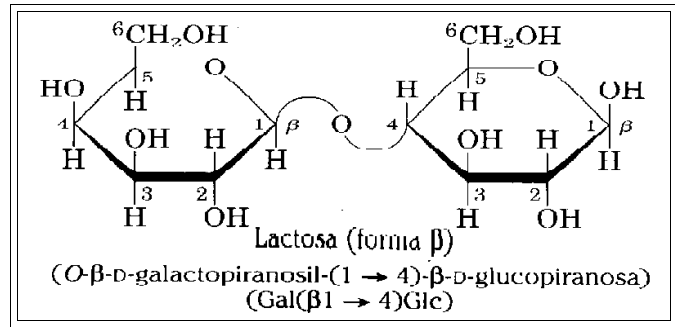
Maltosa formada por dos moléculas de α -glucosa, unidas mediante un enlace (14)

Se obtiene por hidrólisis del almidón y del glucógeno. Aparece durante la germinación de la cebada que se emplea en la fabricación de la cerveza y, una vez tostada como sucedáneo del café (malta).



Lactosa Formada por una molécula de β -galactosa y otra de α -glucosa, unidas mediante un enlace (14). Se encuentra libre en la leche de los mamíferos

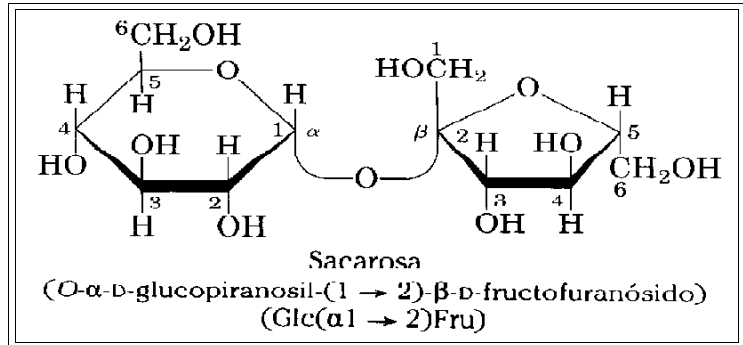
Sacarosa formada por una molécula de α -glucosa y otra de β -fructosa, unidas por un enlace (12). Es el azúcar común y abunda en la caña de azúcar y en la remolacha azucarera.



POLISACÁRIDOS

Son los glúcidos más abundantes en la naturaleza y los de mayor peso molecular.

Están formados por más de diez monosacáridos, unidos entre sí mediante enlaces "Oglucosídicos". En la reacción se desprenden tantas moléculas de agua como enlaces forman. Su hidrólisis completa libera monosacáridos. Son insípidos, amorfos e insolubles en agua. Algunos, como el almidón, pueden formar dispersiones coloidales.



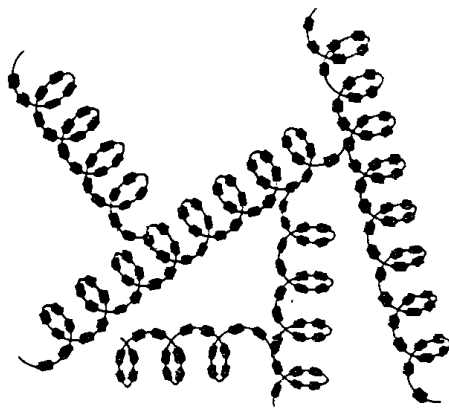
Los polisacáridos realizan funciones biológicas

de dos tipos: de *reserva energética* y *estructural*. Los primeros presentan enlaces de tipo α , como el almidón y el glucógeno. Los segundos, como la celulosa y la quitina, poseen enlaces de tipo β .

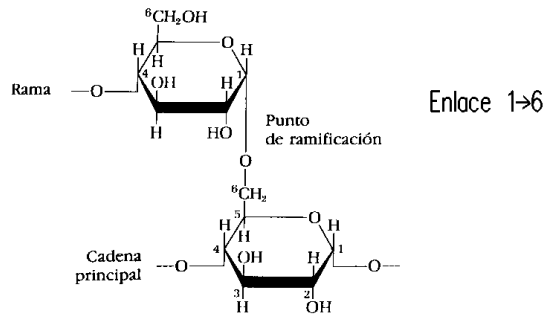
Los mas frecuentes están formados por hexosas, sobre todo glucosa. o sus derivados. En los vegetales también existen polisacáridos formados por pentosas.

Entre los más importantes se pueden citar:

Almidón Homopolisacárido, con función de reserva energética, propio de los vegetales, se acumula en el citoplasma celular formando gránulos (amiloplastos), de tamaño y forma característicos de cada especie vegetal. Es



Almidón

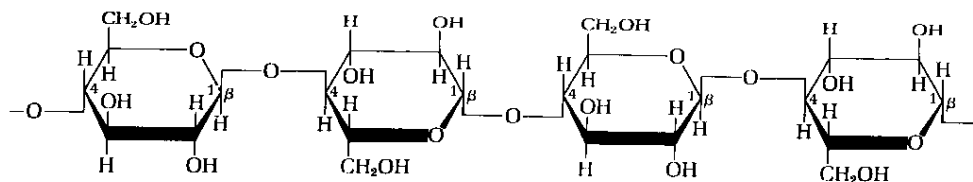


especialmente abundante en tubérculos y en semillas.

Es un polímero de elevado peso molecular formado por miles de moléculas de α -glucosa, cuya estructura es además de ramificada helicoidal con 6 moléculas de glucosa por vuelta de hélice y las ramificaciones se producen cada 12 moléculas de glucosa.

Glucógeno Homopolisacárido, de reserva energética, propio de los animales. Se acumula en el hígado y en los músculos, donde cuando es necesario se moviliza convirtiéndose en glucosa. Es un polímero de moléculas de glucosa y posee una estructura semejante a la del almidón, con la particularidad de que es aún más ramificado.

Celulosa Homopolisacárido, con función estructural, exclusivo de las células vegetales, en las que forma la parte



Cadena de celulosa Unidades de D-glucosa unidas $\beta 1 \rightarrow 4$

fundamental de su pared celular.

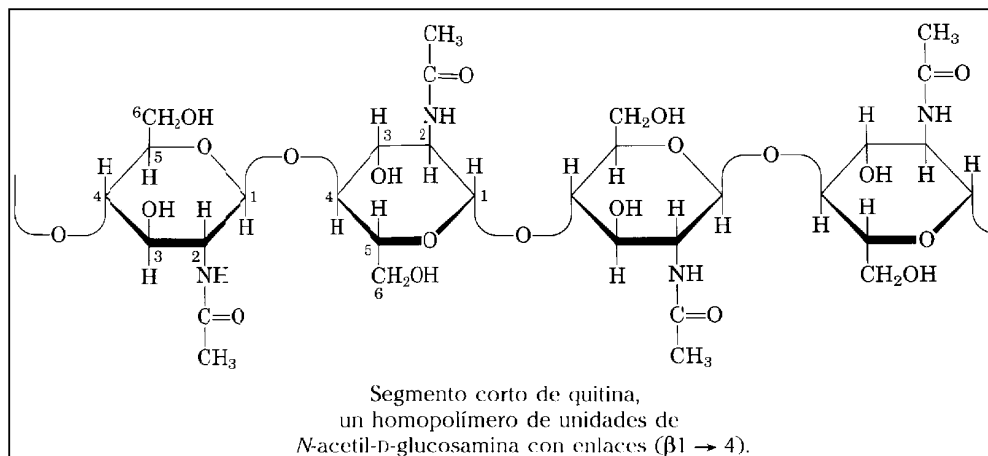
Es un polímero lineal y no ramificado de

moléculas de β -glucosa. Cada molécula de glucosa está girada 180° respecto al residuo adyacente, de modo que el oxígeno de cada anillo establece un puente de hidrógeno con el grupo OH del C3 del anillo siguiente, lo que impide la formación de estructuras helicoidales, obteniéndose de este modo una cadena recta y extendida. Varias cadenas adyacentes, con esta conformación, pueden establecer, entre ellas, enlaces de hidrógeno, dando como resultado la formación de fibras con una elevada fuerza tensil

Sin embargo, los enlaces α del almidón y del glucógeno originan una estructura muy distinta.

La celulosa se hidroliza por acción de las "celulasas" capaces de romper los enlaces β , dando moléculas de celobiosa y estas finalmente glucosa. Solo algunos microorganismos, como protozoos y bacterias simbióticas del aparato digestivo de animales herbívoros y de insectos xilófagos poseen dicho enzima.

Quitina: Homopolisacárido con función estructural que forma la parte fundamental del exoesqueleto de los artrópodos.



FUNCIONES:

Los glúcidos desempeñan las siguientes funciones biológicas:

Energética: Constituyen el material energético de uso inmediato para los seres vivos. El glúcido más utilizado por todo tipo de células como fuente de energía es la glucosa (su oxidación libera 4,1Kcal/g). Otros glúcidos, como el almidón, el glucógeno, la sacarosa, la lactosa..... son formas de almacenar glucosa. Así el glucógeno y el

almidón permiten acumular miles de moléculas de glucosa en animales y vegetales respectivamente. Estas moléculas al ser bastante insolubles en agua pueden almacenarse en grandes cantidades.

Por otra parte y dado que los glúcidos son los primeros productos obtenidos durante la fotosíntesis, constituyen una fuente de carbono para los demás compuestos orgánicos.

Estructural algunos glúcidos forman parte de estructuras celulares y de tejidos. Entre los glúcidos que desempeñan esta función se pueden citar: la celulosa, la pectina y la hemicelulosa que constituyen la pared celular de las células vegetales; los peptidoglicanos constituyentes de la pared bacteriana; la quitina que forma el exoesqueleto de los artrópodos; la ribosa y desoxirribosa componentes de la estructura de los RNA y DNA respectivamente.

Los glúcidos (oligosacáridos)unidos covalentemente a las proteínas o a los lípidos de las membranas celulares, actúan como **receptores de membrana** de muchas sustancias y *lugares de reconocimiento* entre células del mismo tejido.

LÍPIDOS

CONCEPTO

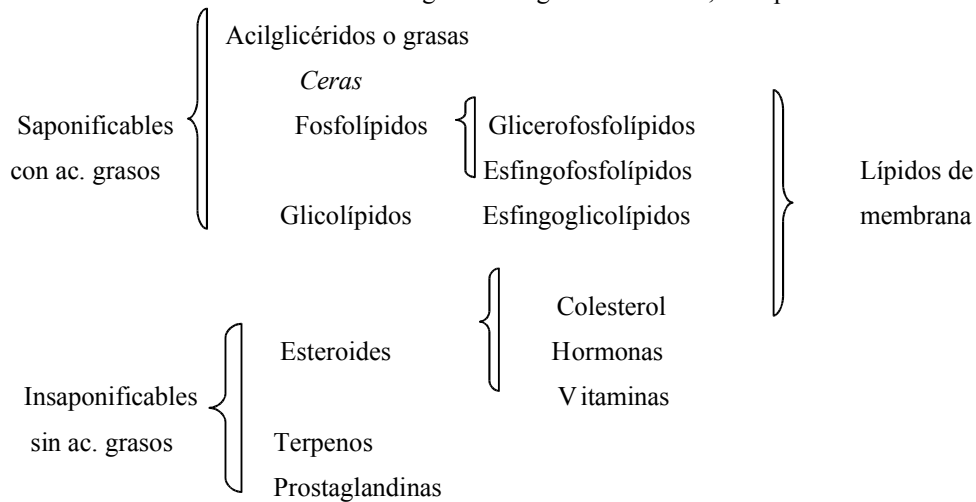
Son biomoléculas orgánicas, compuestas básicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno y, en determinadas ocasiones también por otros elementos, como fósforo, nitrógeno y azufre.

Constituyen un grupo de moléculas muy heterogéneas, que tienen en común dos características:

ser insolubles en agua y otros disolventes polares.

ser solubles en disolventes orgánicos, es decir, no polares, como el benceno, el cloroformo, la acetona, el éter, etc.

Desde el punto de vista químico, se pueden clasificar teniendo en cuenta diversos criterios. Uno de ellos es, en función de sus relaciones con los ácidos grasos. Según este criterio, los lípidos se dividen en:



A título informativo. No se desarrollaran todos.

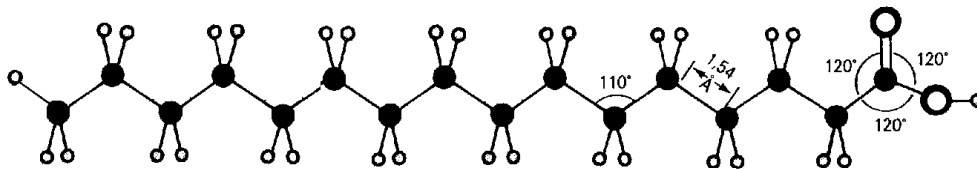
ÁCIDOS GRASOS

Son moléculas que poseen una larga cadena lineal hidrocarbonada, generalmente con un número par de átomos de carbono (14 a 22) y con un grupo carboxilo en uno de sus extremos:

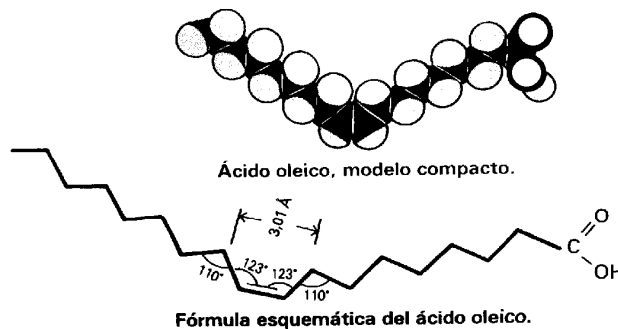
R COOH, R, cadena hidrocarbonada saturada

Ácido palmítico: CH₃ (CH₂)₁₄ COOH

R' COOH, R', cadena hidrocarbonada no saturada



Ácido oléico: CH₃ (CH₂)₇ CH = CH (CH₂)₇ COOH



Saturados son aquellos que poseen únicamente enlaces covalentes sencillos. En estos compuestos, la rotación libre alrededor de cada enlace carbonocarbono, confiere gran flexibilidad a la cadena hidrocarbonada, que puede adoptar muchas conformaciones diferentes, siendo la más estable la totalmente extendida.

Son ejemplos de ácidos grasos saturados entre otros: *ácido palmítico*: $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{14} \text{COOH}$, el esteárico, etc.

Insaturados Son aquellos que poseen uno o varios dobles enlaces. Estos dobles enlaces al ser rígidos y carecer de libertad de giro provocan *inflexiones* de la cadena hidrocarbonada. Como ejemplo se puede citar el *ácido oleico* que se encuentra en el aceite de oliva

Cuando poseen varios dobles enlaces, en la cadena hidrocarbonada, se denominan *poliinsaturados*.

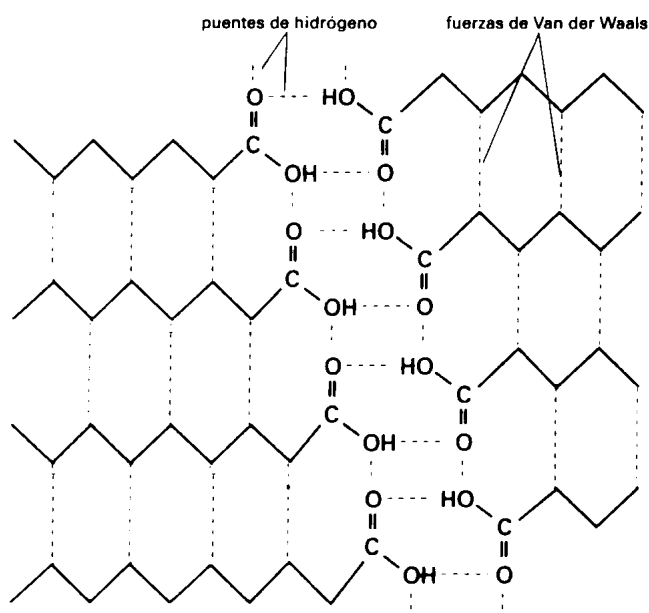
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Las propiedades físicas de los ácidos grasos y de los compuestos que los contienen vienen determinadas en gran medida por la longitud y grado de insaturación de la cadena hidrocarbonada.

Solubilidad Los ácidos grasos son compuestos *anfipáticos*, ya que poseen una zona hidrófoba, la cadena hidrocarbonada, con tendencia a formar enlaces de Van der Waals con otras cadenas semejantes. Por el contrario el grupo carboxilo es polar e hidrófilo. Debido a ello los ácidos grasos cuando se encuentran en un medio acuoso sus grupos hidrófilos se orientan hacia las moléculas de agua, mientras que los grupos hidrófobos se alejan de ellas, dando lugar a la formación de micelas, monocapas y bicapas

Punto de fusión Los ácidos grasos saturados, debido a su conformación totalmente extendida pueden empaquetarse estrechamente, lo que permite la formación de un

gran número de fuerzas de Van der Waals entre los átomos de cadenas hidrocarbonadas vecinas (el número de estos enlaces está en relación directa con la longitud de la cadena). Por el contrario en los ácidos grasos insaturados, los doblamientos provocados por los dobles enlaces de la cadena hidrocarbonada no permiten este empaquetamiento tan fuerte, por lo que las interacciones de Van der Waals son más débiles, necesiándose menos energía para romperlas. Por ello los ácidos grasos insaturados tienen puntos de fusión más bajos que los saturados de la misma longitud de cadena, esto determina que a temperatura ambiente los saturados sean sólidos, mientras que los insaturados son líquidos.

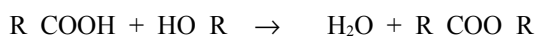


Formación de puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals entre moléculas de ácidos grasos saturados.

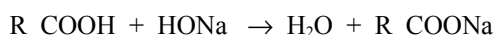
PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Por poseer un grupo carboxilo pueden llevar a cabo:

Reacciones de esterificación en las que reaccionan con grupos alcohólicos formando ésteres:



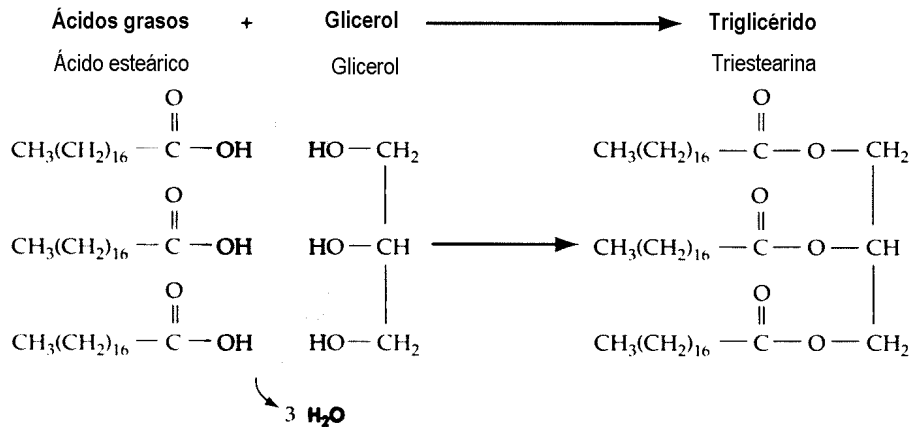
Reacciones de saponificación en las que reaccionan con bases fuertes como potasa o sosa, dando la sal potásica o sódica del ácido graso correspondiente que recibe el nombre de jabón.



ACILGLICÉRIDOS O GRASAS

Son ésteres formados por una molécula de glicerina y una, dos o tres moléculas de ácidos grasos. En el primer caso se denominan *monoacilglicéridos*, en el segundo *diacilglicéridos* y en el tercero *triacilglicéridos*.

Entre ellos cabe destacar los triacilglicéridos denominados también triglicéridos, grasas o grasas neutras.



Dado que los hidroxilos (OH) polares del glicerol y los carboxilos (COOH) polares de los ácidos grasos están unidos en enlace éster, los triacilglicéridos son moléculas apolares (de aquí el nombre de grasas neutras), hidrófobas, prácticamente insolubles en agua. Solo los monoacilglicéridos y los diacilglicéridos poseen cierta polaridad debido a los radicales OH libres de la glicerina.

Si los tres ácidos grasos son iguales, el triacilglicérido se denomina *simple* y si no lo son, recibe el nombre de *mixto*. Las grasas naturales suelen ser mezcla de ambos.

Si los ácidos grasos que predominan son insaturados es líquido y se denomina aceite. Si predominan los saturados es sólido y recibe el nombre de sebo. En los animales poiquiloterms y en los vegetales hay aceites y en los animales homeoterms hay sebos.

Los triacilglicéridos se hidrolizan a pH neutro por acción de las lipasas, rindiendo una molécula de glicerina y tres de ácidos grasos. Las lipasas del intestino colaboran en la digestión y absorción de las grasas de la dieta.

También se hidrolizan hirviéndolos con soluciones diluidas de hidróxido sódico o hidróxido potásico, esta reacción de *saponificación* origina glicerina y las sales sódicas o potásicas de los ácidos grasos correspondientes denominadas jabones.

Las grasas, como ya se ha dicho, son moléculas de reserva energética. Se almacenan en las vacuolas de las células vegetales (sobre todo en frutos y semillas de las plantas oleaginosas) y en los adipocitos del tejido adiposo de los animales.

Son más apropiadas que el glucógeno como reserva energética, ya que no sólo pueden almacenarse en grandes cantidades sino que lo hacen en forma casi deshidratada, con lo que ocupan menos volumen.

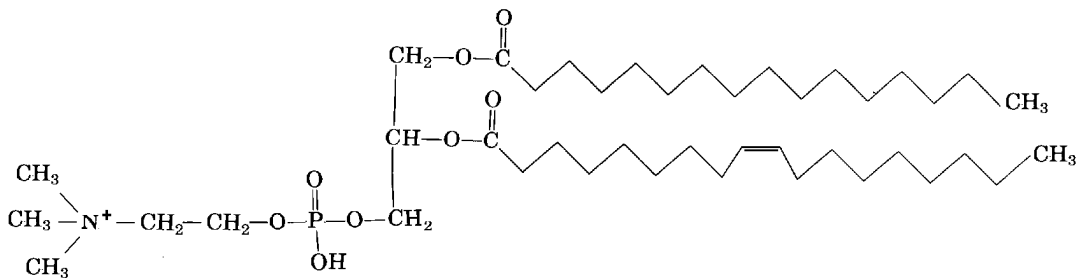
En algunos animales, las grasas acumuladas debajo de la piel sirven también de aislante térmico.

CERAS

Resultan de la esterificación de un monoalcohol lineal de cadena larga con un ácido graso también de cadena larga

FOSFOLÍPIDOS

Son lípidos que forman parte de todas las membranas celulares. Derivan del glicerol, o de la esfingosina, un alcohol más complejo. Los derivados del glicerol se denominan *Fosfoglicéridos* y los derivados de la esfingosina, *Esfingolípidos*.



FOSFOGLICÉRIDOS (GLICEROFOSFOLÍPIDOS)

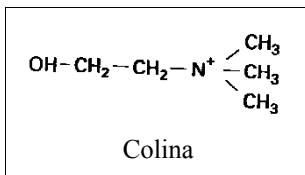
Su estructura molecular deriva de la unión de un *ácido fosfatídico* con un *compuesto polar*, generalmente aminoalcohol.

El ácido fosfatídico es un triéster de glicerol con dos ácidos grasos (*posiciones 1 y 2*) y un ácido ortofosfórico (*posición 3*)

El ácido graso que se esterifica con el primer OH del glicerol suele ser saturado y el segundo insaturado.

El compuesto polar (HO X) se une al ácido fosfatídico, a nivel del ácido ortofosfórico, mediante una nueva reacción de esterificación.

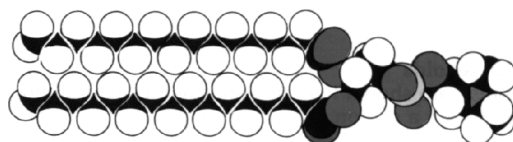
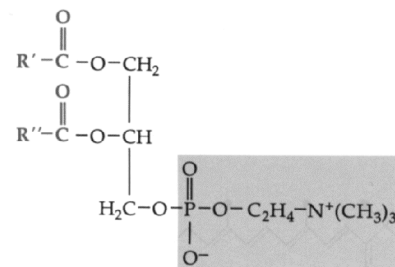
Dado que el ácido ortofosfórico esterifica a dos grupos hidroxilo, se dice que forma un enlace fosfodiéster.



Existen varias clases de fosfoglicéridos, dependiendo del compuesto polar. Como ejemplo se pueden citar la *Lecitina* (fosfatidilcolina), que se encuentra en la mayoría de las membranas celulares de los organismos superiores, y cuyo grupo polar es la colina:

Todos los fosfoglicéridos son compuestos anfipáticos, poseen dos cadenas apolares, hidrófobas (cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos) y un grupo polar hidrófilo (resto de la molécula). Debido a este carácter anfipático desempeñan una *función estructural*, siendo constituyentes esenciales de todas las membranas celulares.

Representación simbólica



Fosfatidilcolina (Lecitina)

ESFINGOLÍPIDOS

Su estructura molecular deriva de la unión del alcohol *esfingosina*, un *ácido graso* y un *grupo polar* que puede ser un aminoalcohol o un glúcido.

De todos ellos el más conocido es la esfingomielina

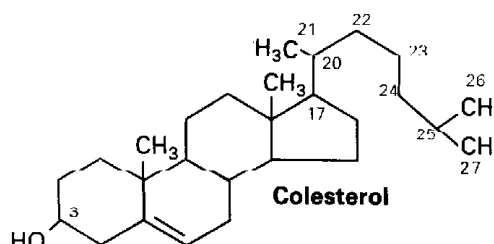
Al igual que los fosfoglicéridos, son compuestos anfipáticos pues poseen un grupo polar y dos cadenas apolares hidrófobas (cadena hidrocarbonada de la esfingosina y del ácido graso), por lo que desempeñan también una función estructural como constituyentes de las membranas celulares.

ESTEROIDES

Derivan de un hidrocarburo cíclico el esterano o ciclopentano *perhidrofenantreno*.

Esteroles: Son los esteroides entre los que cabe destacar el colesterol presente en la mayoría de las células eucarióticas.

Poseen en el carbono 3 el grupo OH y en el carbono 17 una cadena hidrocarbonada.



Es un compuesto anfipático, ya que posee un grupo polar, hidrófilo (el grupo OH), mientras que el resto de la molécula es apolar, hidrófobo. Este carácter anfipático le permite desempeñar una función estructural, siendo componente muy importante de las membranas de las células animales, a las que confiere estabilidad.

El colesterol, además de su papel como constituyente de membranas, es el precursor de otros esteroides, entre los que destaca también la vitamina D, los ácidos biliares y las hormonas sexuales.

FUNCIONES

Los lípidos desempeñan entre otras, las siguientes funciones biológicas:

Energética Tal es el caso de las grasas, que al ser moléculas muy poco oxidadas poseen un alto contenido energético. Por ejemplo la oxidación de un gramo de grasa libera 9,4 Kcal., más del doble de la que se consigue con la oxidación de un gramo de glúcidos o de proteínas (4,1 Kcal).

Las grasas acumuladas en el tejido adiposo de los animales además de constituir una reserva energética para el organismo, son un poderoso *aislante térmico* y en ocasiones mecánico, como por ejemplo la grasa que rodea a los riñones.

Estructural Los fosfolípidos, esfingoglicolípidos y el colesterol, dada su naturaleza polar forman parte de las membranas celulares.

Protectora Función desempeñada por las ceras al impermeabilizar las superficies en que se depositan.

Transportadora Por ejemplo los ácidos y las sales biliares que dispersan las grasas facilitando su degradación y posterior absorción intestinal.

Reguladora Contribuyendo al normal funcionamiento del organismo. Desempeñan esta función las vitaminas lipídicas (A, D, K, E), así como las hormonas sexuales y hormonas suprarrenales, de carácter también lipídico.

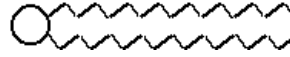
CARÁCTER ANFIPÁTICO DE LOS LÍPIDOS. LÍPIDOS DE MEMBRANA.

Los lípidos que constituyen las membranas celulares tienen en común una característica muy importante: son moléculas anfipáticas. Contienen a la vez una parte hidrofílica, que se siente atraída por el agua y otra hidrofóbica que huye del agua. Los principales lípidos de membrana son: fosfolípidos (más abundantes), glicolípidos y colesterol.

Lípido de membrana	Unidad hidrofóbica	Unidad hidrofílica
Fosfoglicéridos	Cadenas de ácidos grasos	Alcohol fosforilado
Esfingomielina	Cadena de ácido graso y cadena hidrocarbonada de esfingosina.	Fosforilcolina
Glicolípidos	Cadena de ácido graso y cadena hidrocarbonada de esfingosina	Uno o más residuos de azúcar
Colesterol	Molécula completa excepto el grupo OH	Grupo OH en C3

Al observar la fórmula de fosfoglicéridos vemos que las dos cadenas de ácidos grasos (unidad hidrofóbica) quedan aproximadamente paralelas entre sí, mientras que la parte de la fosforilcolina (unidad hidrofílica) apunta en dirección opuesta. En la esfingomielina y glicolípidos tienen una conformación semejante. Por todo ello se ha adoptado la siguiente representación abreviada para los lípidos de membrana. Su unidad hidrofílica también denominada grupo o cabeza polar, se representa mediante un círculo, mientras que sus colas hidrocarbonadas son representadas mediante líneas rectas u onduladas:

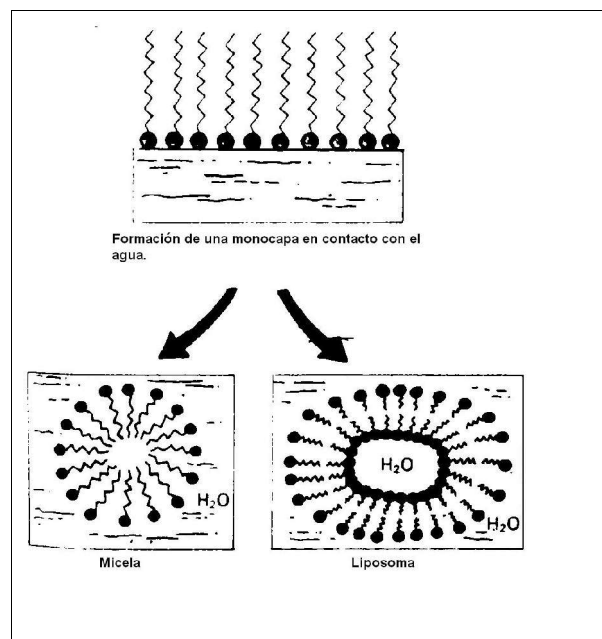
Es evidente que cuando estos lípidos se encuentran en medio acuoso (como ya estudiamos) sus cabezas polares tendrán afinidad por el agua mientras que las colas hidrocarbonadas evitarán el agua. Esto puede conseguirse formando una micela en la que los grupos polares están en la superficie y las colas hidrocarbonadas quedan inmersas en el interior de la micela.



Sin embargo, la ordenación que satisface tanto las preferencias hidrofóbicas como hidrofílicas, de la mayoría de los fosfolípidos y glicolípidos en medios acuosos es la de la bicapa lipídica (una capa bimolecular de lípidos).

La razón es que sus colas de ácidos grasos los hacen demasiado voluminosos para acumularse en el interior de la micela. Además una micela es una estructura limitada, en contraposición con una bicapa lipídica que puede tener dimensiones macroscópicas de hasta 1 mm. (10^7 Å). Por ello, al poder formar capas bimoleculares extensas, son los constituyentes claves de las membranas. Además estas películas sirven como barreras de permeabilidad, a pesar de ser estructuras bastantes fluidas.

La formación de estas bicapas de fosfolípidos y glicolípidos, como consecuencia de su carácter anfipático, es un proceso de autoensamblaje o autoasociación, rápido y espontáneo en el agua.



Las principales fuerzas que determinan la formación de bicapas son las interacciones hidrofóbicas originadas al liberarse las moléculas de agua de las colas hidrocarbonadas a medida que estas colas quedan secuestradas en el interior apolar de la bicapa. Además, entre estas colas hidrocarbonadas existen fuerzas de Van der Waals que favorecen su empaquetamiento compacto. Finalmente, se producen interacciones favorables, electrostáticas y de enlace de hidrógeno entre los grupos polares de la cabeza y las moléculas de agua.

Por tanto, las bicapas lipídicas están estabilizadas por todo el conjunto de fuerzas que intervienen en las interacciones moleculares de los sistemas biológicos.

Las bicapas lipídicas tienden a cerrarse sobre si mismas de tal manera que no existan extremos con cadenas hidrocarbonadas expuestas al agua, lo que da como resultado la formación de un compartimento. Además, las bicapas lipídicas se autorreparan puesto que un orificio en la bicapa es energéticamente desfavorable.

LOS PRÓTIDOS.

1. CONCEPTO DE PROTEÍNA.

Podemos definirlos como polímeros formados por la unión, mediante enlaces peptídicos, de moléculas de baja masa molecular llamadas *aminoácidos*.

Son macromoléculas muy complejas, de elevada masa molecular (entre 6000 y 10^6 u¹). Algunas proteínas están constituidas por un solo polímero de aminoácidos pero otras son grandes edificios moleculares formados por varios polímeros ensamblados que además, en ciertas ocasiones, se encuentran unidos a otras moléculas orgánicas (lípidos y glúcidos principalmente).

Son las moléculas orgánicas más abundantes en las células, más del 50% del peso seco de una célula es materia proteica. Básicamente están formadas por **C, H, O y N**, aunque casi todas contienen además **S**. Otros bioelementos que con frecuencia forman parte de los prótidos son: **P, Fe, Zn y Cu**. De todos estos elementos el más característico de las proteínas es el **N**, son los compuestos nitrogenados por excelencia de todos los seres vivos.

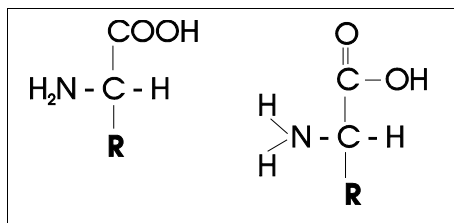
Las funciones más importantes y específicas de la materia viva son realizadas por proteínas o por moléculas complejas en cuya composición encontramos alguna proteína.

Las proteínas son las moléculas específicas que marcan la individualidad de cada ser vivo e incluso rechazan las de otro. Además son las moléculas mediante las que se expresa la información genética, de hecho el *dogma central de la genética molecular* nos dice:



2. LOS AMINOÁCIDOS.

Son las unidades estructurales que constituyen las proteínas, los monómeros que, enlazados y repetidos muchas veces, forman los distintos tipos de proteínas.



Químicamente son ácidos orgánicos que llevan además del grupo **carboxílico**, un grupo **amino**. En los aminoácidos que se encuentran en las proteínas de los seres vivos el grupo amino está siempre en **posición alfa**, por este motivo solemos referirnos a los aminoácidos con el símbolo aa . Todos los aminoácidos que se encuentran en las proteínas,

salvo la **prolina**, responden a la fórmula general expresada al margen.

En la fórmula general **R** representa el radical o "resto" de la molécula, lo que diferencia a unos aminoácidos de otros. La **R** puede ser un simple **H** o algo más complejo como un anillo hexagonal, una corta cadena alifática, etc. En las

¹1 u = 1 da = $1,66 \cdot 10^{-24}$ gr.

proteínas naturales encontramos 20 aminoácidos diferentes que son prácticamente los mismos para todos los seres vivos.

2.1. Propiedades ópticas de los aminoácidos.

Los aminoácidos, excepto la glicina, son todos asimétricos y los que forman parte de las proteínas pertenecen a la forma L.

2.3. Clasificación de los aminoácidos.

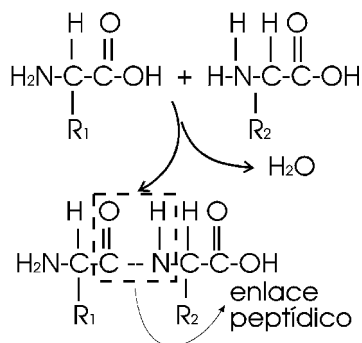
Podemos clasificar los aminoácidos fijándonos en el radical, si tiene carácter polar o no polar y en su carga eléctrica, pero también podríamos tener en cuenta otros criterios, casi todos ellos en función de los radicales. Una clasificación sencilla podría ser la siguiente:

Grupo I	Radical neutro y apolar, es una cadena hidrófoba. Hidrófobos.
Grupo II	Radical neutro y polar que son capaces de formar puentes de hidrógeno con el agua porque poseen un grupo alcohólico, un grupo sulfhídrico o una amida. Hidrófilos.
Grupo III	Radical básico y por tanto con carga positiva, contiene uno o más grupos aminos. Hidrófilos.
Grupo IV	Radical ácido y por tanto con carga negativa, contiene un grupo ácido. Hidrófilos.

La mayoría de los veinte aminoácidos pueden sintetizarse unos a partir de otros, pero existen algunos que no pueden obtenerse de esta manera y tienen que ser adquiridos con la dieta habitual, es decir que son *aminoácidos esenciales*. Los aminoácidos esenciales son diferentes para cada especie, por ejemplo en el hombre y como simple dato informativo son diez: Thr, Lys, Arg, His, Val, Leu, Ileu, Met, Phe y Trp.

2.4. El enlace peptídico.

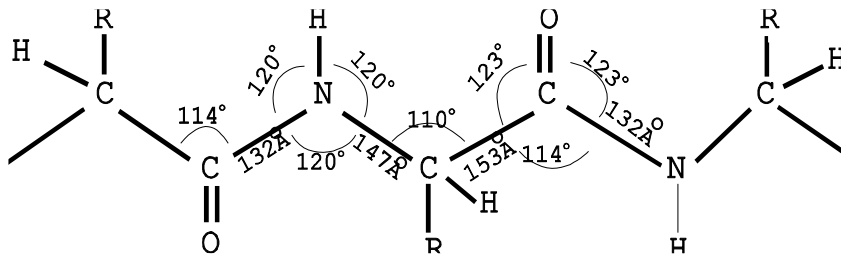
Se trata de un enlace que se establece entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro. La configuración espacial de este enlace es tal, que los átomos del grupo carboxílico y del grupo amino se sitúan en un mismo plano con ángulos y distancias fijos.



Este enlace tiene ciertas características que conviene remarcar:

- Es un enlace covalente muy resistente, lo que hace posible el gran tamaño y estabilidad de las moléculas proteicas.
- En cierto modo se comporta como un doble enlace, tiene una cierta rigidez e impide el giro libre a su alrededor.
- Inmoviliza en un plano a los cuatro átomos que lo integran. Las distancias y los ángulos entre estos cuatro átomos se mantienen constantes.

Es el enlace mediante el cual se encadenan los aminoácidos para formar polímeros llamados péptidos: dipéptidos, tripéptidos, tetrapéptidos, polipéptidos.



3. LOS PÉPTIDOS.

Están formados por la unión de aminoácidos mediante enlaces peptídicos. Si el número de aminoácidos es inferior a diez, oligopéptido; si es mayor de diez, polipéptido. Si el polipéptido tiene más de cien aminoácidos o un peso molecular superior a 5.000, se denomina proteína.

Un ejemplo de péptido bien conocido es la *insulina* (dos cadenas de 21 y 30 aminoácidos unidos por dos puentes disulfuro entre cisteínas), la *encefalina* (5 aminoácidos) que se produce en las neuronas cerebrales y elimina la sensación de dolor y la *oxitocina* (9 aminoácidos) de la hipófisis que produce las contracciones del útero durante el parto.

4. ESTRUCTURA DE PROTEÍNAS.

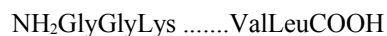
Distinguimos dos grandes grupos de proteínas: las holoproteínas, que están formadas exclusivamente por aminoácidos; y las heteroproteínas, que están formadas por holoproteínas asociadas a alguna otra molécula no proteica como puede ser un glúcido, un lípido, un ácido nucleico, etc.

La conformación de una proteína es la disposición que adopta la molécula en el espacio. En condiciones normales de pH y temperatura, las cadenas peptídicas suelen poseer una única conformación que será la responsable de sus funciones biológicas.

La estructura o conformación de las proteínas es tan complicada que para estudiarla lo hacemos a diferentes niveles de complejidad.

A) La estructura primaria.

Se refiere a la secuencia u orden que siguen los aminoácidos. Toda cadena polipeptídica está polarizada, esto es, posee dos extremos bien definidos. Llamamos extremo **Nterminal** al extremo donde se encuentra el aminoácido con el grupo amino libre, llamamos extremo **Cterminal** al extremo en el que se encuentra el aminoácido con el grupo carboxílico libre. Al enumerar los aminoácidos de una proteína lo haremos desde el extremo N-terminal hacia el C-terminal:



La estructura primaria es de gran importancia porque de ella van a depender todos los demás niveles estructurales. La alteración de la secuencia de aminoácidos de un polipéptido dará lugar a una proteína diferente que puede incluso perder toda actividad biológica o realizar una función diferente de la original.

Dos polipéptidos son diferentes aunque tengan exactamente los mismos aminoácidos si éstos están dispuestos en orden diferente.

B) La estructura secundaria.

Es la disposición de la secuencia de aminoácidos o estructura primaria en el espacio, sobre todo dependerá de la disposición regular y repetida de los radicales **R**.

La estabilidad de esta estructura se debe a la capacidad de giro de los enlaces (de todos excepto de los enlaces peptídicos) y a la formación de puentes de hidrógeno entre los: $C = O \cdots \cdots H - N$

Se conocen básicamente tres tipos de estructuras secundarias:

- La alfa hélice
- La hélice de colágeno
- La disposición beta o de lámina plegada.

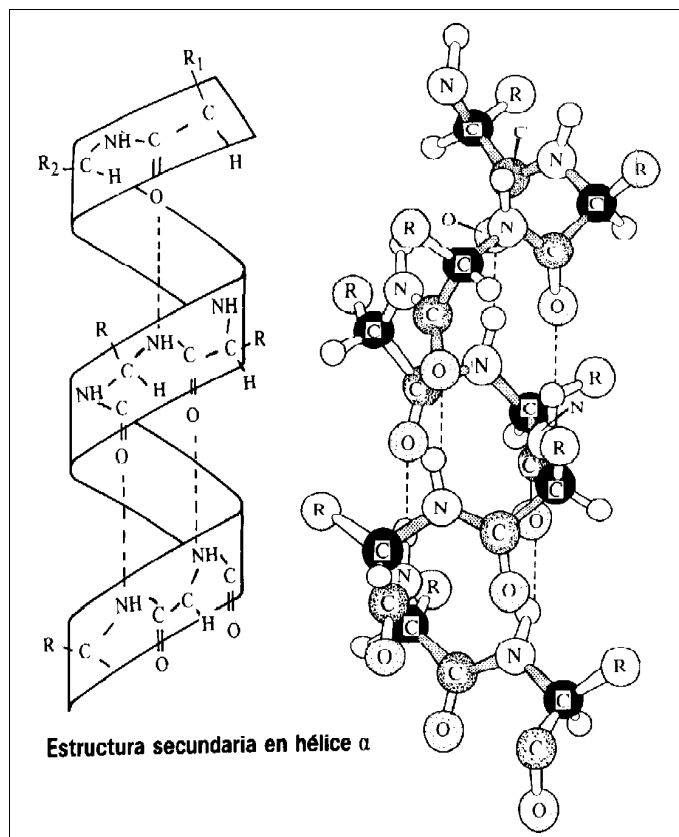
En realidad en los tres casos se trata de disposiciones helicoidales que se diferencian únicamente en el paso de vuelta (p), el número de aminoácidos por vuelta (n) y el diámetro de la hélice. En la alfa hélice $n = 4$, en la hélice del colágeno $n = 3$, y en la disposición beta $n = 2$.

A continuación pasaremos a estudiar la alfa hélice y la disposición beta como configuraciones más frecuentes.

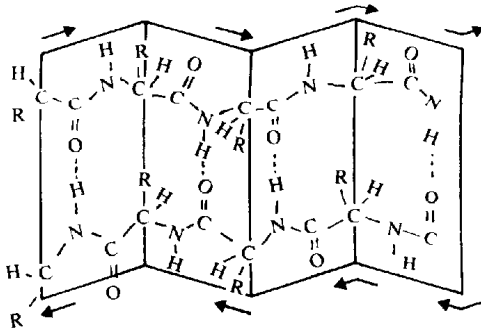
* **Alfa Hélice.** En la conformación de la estructura secundaria en **Alfa hélice**, la cadena de aminoácidos se enrolla sobre sí misma, en forma de hélice que gira hacia la derecha, debido a la especial disposición en que se van orientando los aminoácidos al enlazarse y que determina que cada plano que contiene un enlace peptídico realice un giro determinado respecto al plano anterior. Los puentes de hidrógeno que se establecen entre los:



de las espiras vecinas son los responsables de la estabilidad de esta estructura.²



^{2*} En el caso de la **hélice de colágeno** la disposición es similar pero la hélice que resulta está más distendida porque la abundancia de aminoácidos como la prolina e hidroxiprolina, que poseen un radical muy voluminoso, dificultan la formación de puentes de hidrógeno entre las espiras. La estabilidad final de ésta estructura se consigue por la asociación de tres hélices para formar una superhélice que gira hacia la



Estructura secundaria en hoja plegada β

* **La disposición beta** o en lámina plegada, es también una hélice pero no existen puentes de hidrógeno entre las espiras y la hélice está tan relajada que recuerda un zigzag. La estabilidad de esta estructura se logra al asociarse varias moléculas polipeptídicas o segmentos de una misma proteína mediante puentes de hidrógeno. Se forma entonces una especie de lámina plegada o en zigzag en la cual los radicales (R) de los aminoácidos, que suelen ser muy cortos, aparecen situados por encima y por debajo de esta lámina plegada.

C) Estructura terciaria

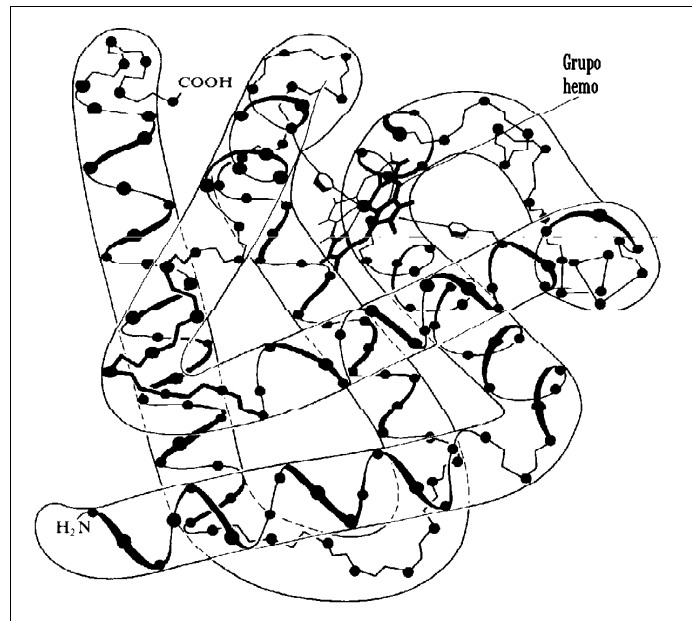
Es la disposición que adquiere en el espacio la estructura secundaria.

Una secuencia de aminoácidos en disposición alfa o beta, normalmente no se dispone en línea recta, sino que se dobla o retuerce, adquiriendo lo que llamamos estructuras terciarias.

Básicamente distinguimos dos tipos de estructuras terciarias: la filamentosa y la globular. También es cierto que para muchos autores la estructura filamentosa es la ausencia de estructura terciaria.

Las proteínas con conformación filamentosa o fibrosa, suelen ser estructurales, de protección o ambas cosas a la vez. Mantienen la disposición alargada y no se retuercen y por este motivo

podemos decir que carecen de estructura terciaria. Son insolubles en agua y soluciones salinas: betaqueratina, colágeno, elastina, etc.



izquierda. Por este motivo, tres polipéptidos ensamblados, para muchos bioquímicos esa sería una estructura típicamente cuaternaria. Esta estructura es prácticamente exclusiva del colágeno, de ahí su nombre.

Las proteínas que realmente adquieren estructuras terciarias con pliegues, repliegues y dobleces son las proteínas con conformación globular. Suelen ser dinámicas o dinámicoestructurales, la estructura secundaria se dobla y retuerce varias veces hasta adquirir una forma más o menos globular o esférica, son solubles en agua y/o disoluciones salinas.

Los tramos rectos de las proteínas globulares generalmente tienen estructura secundaria en alfa-hélice, los tramos donde dobla la cadena polipeptídica tienen disposición beta.

Son globulares, por ejemplo, los enzimas, las proteínas de membrana, muchos transportadores, etc.

En una proteína globular pueden existir diferentes segmentos de alfa-hélices y/o de láminas beta, pero siempre se encuentran las formas beta en el centro y las formas alfa-hélice en la superficie. Por otra parte el polipéptido siempre se dobla de manera que los radicales hidrófobos quedan en el centro del glóbulo y los hidrófilos en la superficie excepto en el caso de las proteínas de membrana que, al estar inmersas en un ambiente lipídico, disponen sus radicales hidrófobos en la superficie.

Estas estructuras globulares se forman y se mantienen debido a la presencia de:

- * Enlaces covalentes fuertes entre los radicales de los aminoácidos, como los puentes disulfuro que se establecen entre dos aminoácidos con azufre (cisteínas y metioninas)
- * Otros enlaces débiles como puentes de hidrógeno, Van der Waals, interacciones eléctricas, interacciones ácidobase e interacciones hidrofóbicas.

D) Estructura cuaternaria

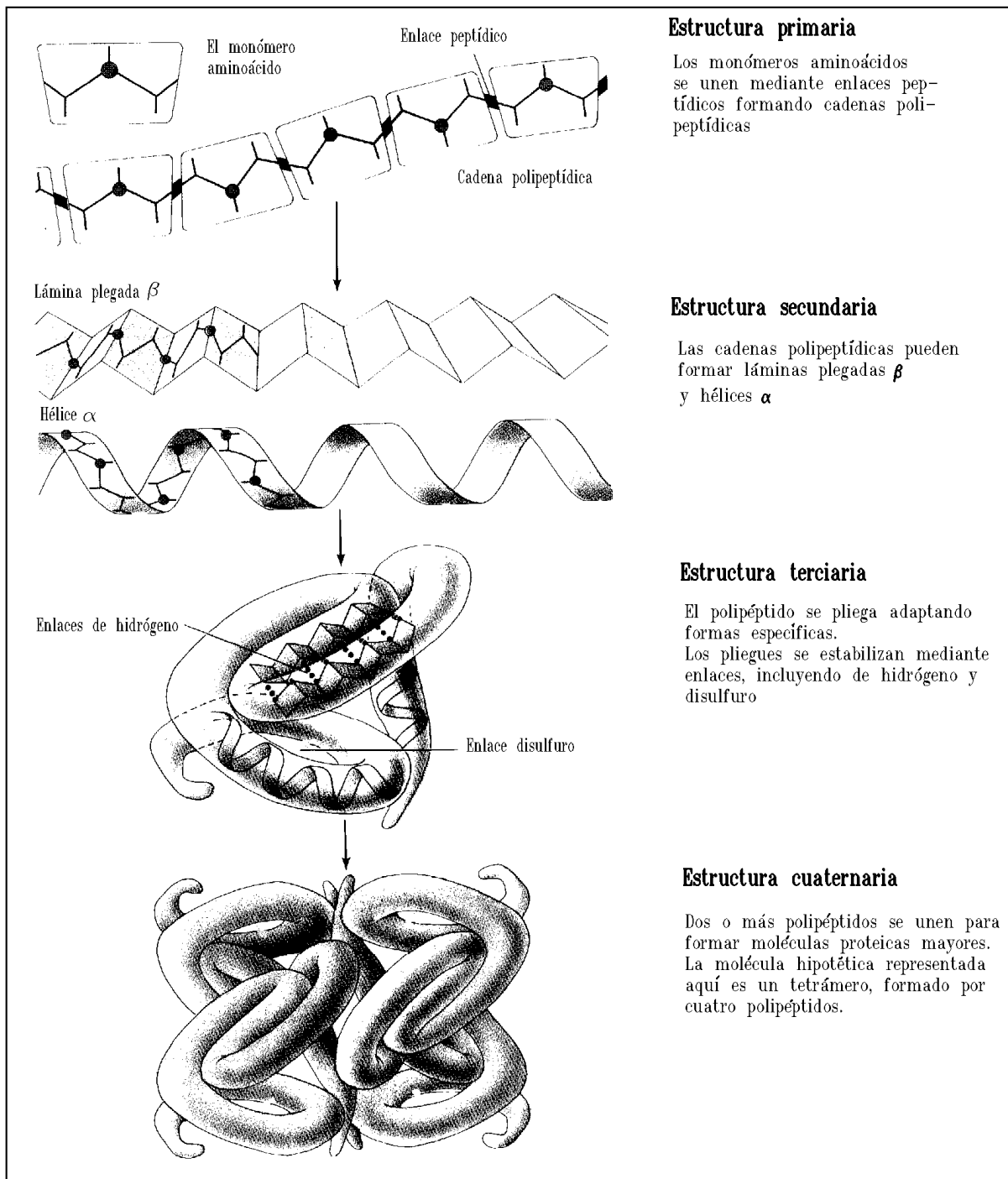
Cuando varias cadenas de aminoácidos, iguales o diferentes, se unen para formar un edificio proteico de orden superior, se disponen según lo que llamamos estructura cuaternaria. También se considera estructura cuaternaria la unión de una o varias proteínas a otras moléculas no proteicas para formar edificios macromoleculares complejos.

Cada polipéptido que interviene en la formación de este complejo proteico es un *protómero* y según el número de protómeros tendremos: *dímeros, tetrámeros, pentámeros, etc.*

La asociación o unión de las moléculas que forman una estructura cuaternaria, se consigue y mantiene mediante enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, interacciones electrostáticas y algún que otro puente disulfuro.

Un ejemplo de estructura cuaternaria es la hemoglobina, formada por las globinas o parte proteica (dos cadenas alfa y dos cadenas beta) más la parte no proteica o grupos Hemo.

La conformación espacial cuaternaria de los prótidos es la responsable de su actividad biológica, esta función se puede ver alterada cuando hay modificación de la secuencia de aminoácidos o estructura primaria: en el caso de la anemia falciforme, el aminoácido nº 6 de las cadenas b (el glutámico) es sustituido por la valina, como consecuencia de esto se



Estructura primaria

Los monómeros aminoácidos se unen mediante enlaces peptídicos formando cadenas polipeptídicas

Estructura secundaria

Las cadenas polipeptídicas pueden formar láminas plegadas β y hélices α

Estructura terciaria

El polipéptido se pliega adaptando formas específicas. Los pliegues se estabilizan mediante enlaces, incluyendo de hidrógeno y disulfuro

Estructura cuaternaria

Dos o más polipéptidos se unen para formar moléculas proteicas mayores. La molécula hipotética representada aquí es un tetrámero, formado por cuatro polipéptidos.

produce un ensamblaje anormal de los componentes de la hemoglobina que tiene como consecuencia la pérdida de su funcionalidad; transporta menor cantidad de O_2 y los eritrocitos adoptan forma de hoz.

En el esquema anterior se pueden comparar y diferenciar con claridad los cuatro niveles estructurales que acabamos de estudiar.

5. PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS.

Las propiedades de una proteína, **incluso su carga eléctrica**, dependen de los restos o radicales de los aminoácidos que quedan en su superficie y que podrán interactuar mediante enlaces covalentes o no covalentes con otras moléculas. A continuación veremos las propiedades más importantes:

*** Solubilidad.**

Las proteínas (sobre todo las globulares) en soluciones acuosas forman dispersiones coloidales debido a la polaridad de algunos radicales hidrófilos de los aminoácidos que se quedan dispuestos en la periferia de la molécula. Cada macromolécula proteica queda rodeada de moléculas de agua y no contacta con otras macromoléculas gemelas con lo que no puede producirse la precipitación.

*** Desnaturalización.**

Las alteraciones de la concentración, del grado de acidez, de la temperatura (calor); provocan la pérdida de solubilidad de las proteínas y la consecuente precipitación. A todo este proceso lo llamamos *desnaturalización*.

Esto es debido a la desaparición de los enlaces débiles tipo puente de hidrógeno, Van der Waals, etc. y en realidad no afecta a los enlaces peptídicos y por tanto a la estructura primaria. Sin embargo al ver alterada su conformación espacial, la proteína perderá su funcionalidad biológica.

Puede existir una *renaturalización* casi siempre, excepto cuando el agente causante de la desnaturalización es el calor (coagulación de la leche, huevos fritos, "permanente" del cabello, etc.).

*** Especificidad.**

En las proteínas existen sectores fijos que tienen siempre la misma secuencia de aminoácidos y sectores variables que pueden alterar la secuencia de sus aminoácidos sin que se altere la función biológica de la proteína. Este hecho da lugar a que a lo largo de la evolución se desarrollen infinidad de moléculas proteicas diferentes para cumplir la misma función y por lo tanto a que cada especie, o incluso cada individuo, tenga sus propias proteínas específicas.

La especificidad de las proteínas dependerá por lo tanto de los sectores variables y a ellos se deben, por ejemplo, los problemas de rechazos en los trasplantes de órganos.

Por ejemplo: La **insulina** consta de 51 aminoácidos en todos los mamíferos, que están distribuidos en dos cadenas, de 21 y 30 aminoácidos respectivamente, unidas mediante dos enlaces disulfuro; de éstos 51 aminoácidos, la mayoría son los mismos en todas las especies, pero unos pocos (tres de la cadena corta) varían de unas a otras.

6. RELACIÓN ENTRE LA FORMA Y LA FUNCIÓN BIOLÓGICA DE LAS PROTEÍNAS CENTRO ACTIVO .

Los diferentes papeles biológicos de éstas moléculas van a depender de la forma que adopten en su conformación espacial.

Centro activo.

Llamamos *ligando* a cualquier molécula que interaccione con una proteína o complejo proteico y para que esta interacción tenga éxito es necesario que ambas moléculas adapten perfectamente sus superficies. El ligando debe "*encajar*" en algún lugar de la proteína que llamamos *centro activo* o *locus*.

El centro activo esta formado por unos pocos aminoácidos que además suelen estar muy distantes unos de otros en la secuencia primaria de la proteína, pero que debido a los pliegues y repliegues que marcan la estructura terciaria, se quedan localizados, espacialmente, muy próximos unos de otros y, sobre todo, formando una especie de hueco donde encajará el ligando.

El resto de los aminoácidos de la proteína tienen como misión mantener la forma y la estructura que se precisa para que el centro activo se encuentre en la posición correcta. Para que una proteína y un **ligando** se unan o se **reconozcan** deben establecerse entre ambas moléculas varios puntos de interacción del tipo enlaces débiles, especialmente fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, etc.

Estas interacciones se deben a que ciertos radicales de los aminoácidos de la proteína, que están en el centro activo de la molécula, tienen afinidad química por determinados grupos funcionales presentes en el ligando. Algunas veces la unión proteína-ligando es irreversible como ocurre con las reacciones antígeno-anticuerpo. Otras veces es perfectamente reversible.

Una proteína puede tener varios **centros activos** o **loci** que le permitirán unirse a varios ligandos.

7. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN FUNCIÓN DE SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA.

De entre las funciones generales más características que las proteínas cumplen en las células podemos destacar las de tipo enzimático, estructural, contráctil, transporte, hormonal e inmunológico.

Estas funciones no son excluyentes entre sí, de tal manera que, por ejemplo, una proteína puede ser al mismo tiempo estructural y enzimática, como ocurre con muchos enzimas que forman parte de las membranas celulares.

Si atendemos a su actividad biológica, y aunque muchas proteínas cumplen más de una función, podemos establecer la siguiente clasificación:

* **De reserva.** En general las proteínas no tienen función de reserva, pero pueden utilizarse con este fin en algunos casos especiales como por ejemplo en el desarrollo embrionario: **ovoalbúmina** del huevo, **caseína** de la leche y **gliadina** del trigo.

* **Estructural.** Son un material de suma importancia que es utilizado en casi todas las estructuras celulares como membranas, material extracelular, complejos macromoleculares, asociadas al ADN, citoesqueletos, fibras del huso acromático, cilios y flagelos, ribosomas, etc.

Ej. : **glucoproteínas de la membrana plasmática**, **Histonas**, **colágeno** (tejs. conectivos, tendones, hueso, cartílago, etc.), **elastina** (ligamentos, paredes de los vasos sanguíneos, tej. conjuntivo), **queratina** (en la epidermis, pelos, plumas, uñas, cuernos, escamas), **fibroína** (en los artrópodos, tela de araña, capullo de seda de las larvas de las mariposas).

* **Homeostática.** En el medio interno celular y extracelular mantienen el equilibrio osmótico.

* **De transporte.** Además de las proteínas de transporte que se encuentran en todas las membranas, otras proteínas transportan sustancias por los medios internos.

Como ejemplos podemos recordar: **Hemoglobina** que transporta O₂ en la sangre de los vertebrados; **hemocianina** que transporta O₂ en los invertebrados y **mioglobina** que hace lo mismo en los músculos estriados; **citocromos** que transportan electrones en la cadena respiratoria y en la fase luminosa de la fotosíntesis, las **lipoproteínas** que transportan lípidos, etc.

* **Immunológica y defensiva.** Como ejemplos de este tipo de proteínas tenemos:

Trombina y fibrinógeno que son responsables de la coagulación de la sangre, **mucinas** germicidas y protectoras de las mucosas digestivas y respiratorias, **inmunoglobulinas o anticuerpos** sanguíneos que bloquean la acción de los antígenos.

* **Hormonal.** Como ejemplos de esta funcionalidad proteica tenemos:

Insulina que aumenta la permeabilidad para la glucosa de las membranas plasmáticas, **glucagón** que es antagonico de la insulina, **somatotropa** u hormona del crecimiento, etc.

* **Contráctil.** Debida a la posibilidad que tienen algunas para cambiar de forma manteniendo su estabilidad.

Ejemplos típicos son: la **actina** y la **miosina**, responsables de la contracción muscular, la **dineína** de los cilios y flagelos, **tubulinas** de los microtúbulos y microfibrillas, etc.

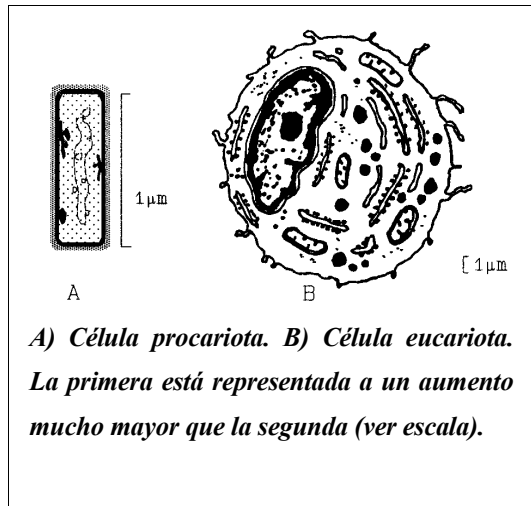
* **Enzimática.** Quizás la función más específica e importante de las proteínas. Los enzimas que controlan el metabolismo celular son de naturaleza proteica.

II LAS CÉLULAS

CLASES DE CÉLULAS

EUCARIOTAS Y PROCARIOTAS

Por su estructura se distinguen dos tipos de células: procarióticas y eucarióticas:



PROCARIÓTICAS. Son muy simples, muy primitivas. Apenas tienen estructuras en su interior. Se caracterizan por no tener un núcleo propiamente dicho. Esto es, no tienen el material genético envuelto en una membrana y diferenciado del resto del citoplasma. Además su ADN no está asociado a histonas y está formando un único cromosoma. Son procariotas, entre otras, las bacterias, las cianofíceas y los micoplasmas.

EUCARIÓTICAS. Son las células características del resto de los organismos unicelulares y pluricelulares, tanto animales como vegetales. Su estructura es más evolucionada y más compleja.

Poseen orgánulos celulares y un núcleo verdadero diferenciado del citoplasma y separado de él por una membrana. Su ADN está asociado a proteínas, histonas y otras, y estructurado en numerosos cromosomas.

ESTRUCTURA GENERAL DE LA CÉLULA EUCARIÓTICA

En toda célula eucariótica vamos a poder distinguir la siguiente estructura:

Membrana plasmática

Citoplasma

Núcleo

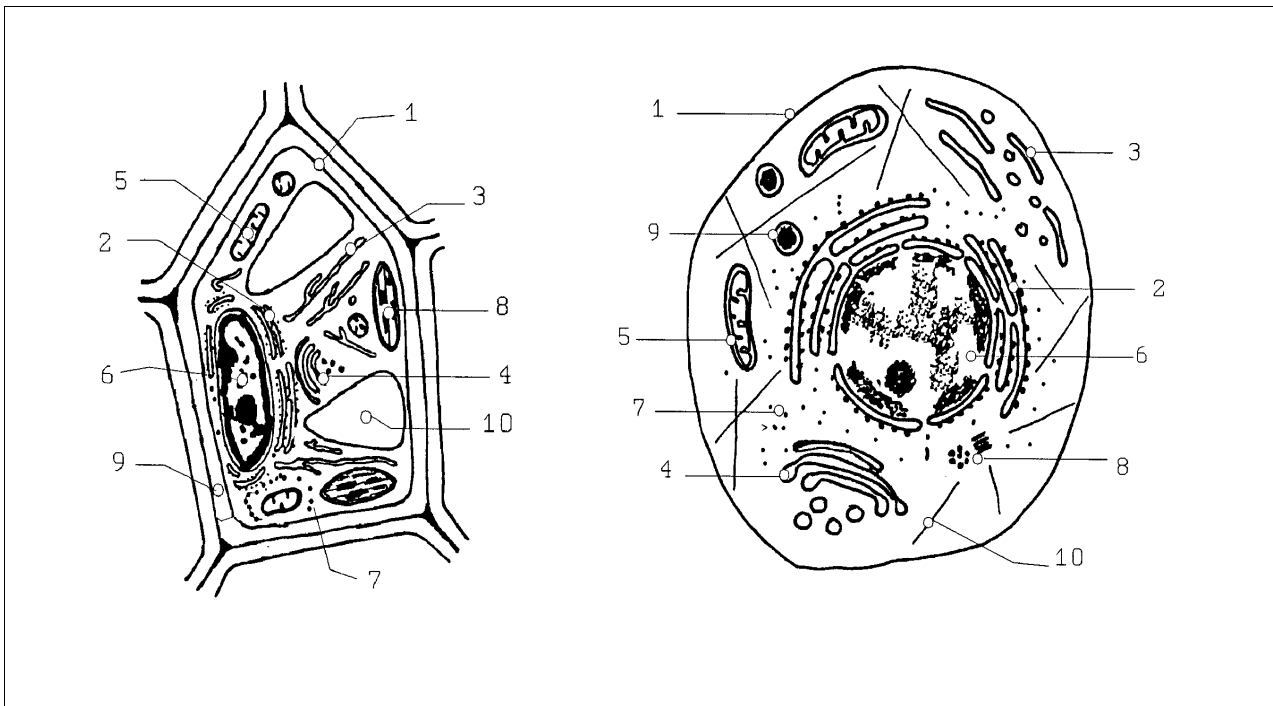
La célula presenta un aspecto diferente según se observe al microscopio óptico (MO) o al electrónico (MET).

Distinguiremos así una **estructura**, vista al MO, y una **ultraestructura** celular si se observa al MET.

DIFERENCIAS ENTRE LAS CÉLULAS VEGETALES Y ANIMALES

Por lo general, las células vegetales son de mayor tamaño. Además, tienen plastos y están envueltas en una gruesa pared celular, también llamada pared celulósica o membrana de secreción. Sus vacuolas son de gran tamaño y no tienen centriolos.

ULTRAESTRUCTURA DE LA CÉLULA EUCARIÓTICA



CÉLULA VEGETAL

- 1 Membrana plasmática
- 2 Retículo endoplasmático granular
- 3 Retículo endoplasmático liso
- 4 Aparato de Golgi
- 5 Mitocondria
- 6 Núcleo
- 7 Ribosomas
- 8 Cloroplasto
- 9 Pared celulósica
- 10 Vacuola

CÉLULA ANIMAL

- 1 Membrana plasmática
- 2 Retículo endoplasmático granular
- 3 Retículo endoplasmático liso
- 4 Aparato de Golgi
- 5 Mitocondria
- 6 Núcleo
- 7 Ribosomas
- 8 Centriolos
- 9 Lisosomas
- 10 Microtúbulos (citoesqueleto)

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LOS ORGÁNULOS CELULARES

MEMBRANA

Membrana plasmática: Delgada lámina que recubre la célula. Está formada por lípidos, proteínas y oligosacáridos. Regula los intercambios entre la célula y el exterior.

Pared celular: Gruesa capa que recubre las células vegetales. Está formada por celulosa y otras sustancias. Su función es la de proteger la célula vegetal de las alteraciones de la presión osmótica.

CITOPLASMA

Hialoplasma: Es el citoplasma desprovisto de los orgánulos. Se trata de un medio de reacción en el que se realizan importantes reacciones celulares, por ejemplo: la síntesis de proteínas y la glicolisis. Contiene los microtúbulos y microfilamentos que forman el esqueleto celular.

Retículo endoplasmático: Red de membranas intracitoplasmática que separan compartimentos en el citoplasma. Ahí dos clases: **granular** y **liso**. Sus funciones son: síntesis, maduración y transporte de sustancias celulares, en particular glicoproteínas.

Ribosomas: Pequeños gránulos presentes en el citoplasma, también adheridos al retículo endoplasmático granular. Intervienen en los procesos de síntesis de proteínas

Aparato de Golgi: Sistema de membranas similar, en cierto modo, al retículo pero sin ribosomas. Sirve para sintetizar, transportar y empaquetar determinadas sustancias elaboradas por la célula y destinadas a ser almacenadas o a la exportación.

Lisomas: Vesículas que contienen enzimas digestivas. Intervienen en los procesos de degradación de sustancias.

Vacuolas: Estructuras en forma de grandes vesículas. Almacenamiento de sustancias.

Mitocondrias: En ellas se extrae la energía química contenida en las sustancias orgánicas (ciclo de Krebs y cadena respiratoria).

Centrosoma: Interviene en los procesos de división celular y en el movimiento celular por cilios y flagelos.

Plastos: Orgánulos característicos de las células vegetales. En ellos se realiza la fotosíntesis.

NÚCLEO: Contiene la información celular.

Nucleoplasma: En él se realizan las funciones de replicación y transcripción de la información celular. Esto es, la síntesis de ADN y ARN.

Nucleolo: Síntesis del ARN de los ribosomas.

Envoltura nuclear: Por sus poros se realizan los intercambios de sustancias entre el núcleo y el hialoplasma.

LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS

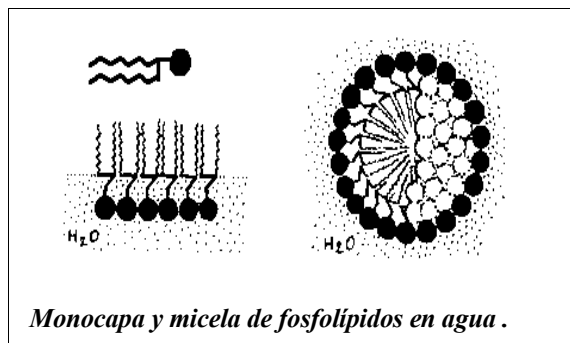
LA MEMBRANA UNITARIA

Muchas estructuras de la célula están formadas por membranas. Las membranas biológicas constituyen fronteras que permiten no sólo separar sino también poner en comunicación diferentes compartimentos en el interior de la célula y a la propia célula con el exterior.

La estructura de todas las membranas biológicas es muy parecida. Las diferencias se establecen más bien al nivel de la función particular que tienen los distintos orgánulos formados por membranas; función que va a depender de la composición en proteínas que tengan sus membranas biológicas. La estructura básica que forma las membranas biológicas se le llama: **unidad de membrana o membrana unitaria**. La membrana plasmática de la célula y la de los orgánulos celulares está formada por membranas unitarias.

ORGÁNULOS Y OTRAS ESTRUCTURAS FORMADOS POR MEMBRANAS UNITARIAS

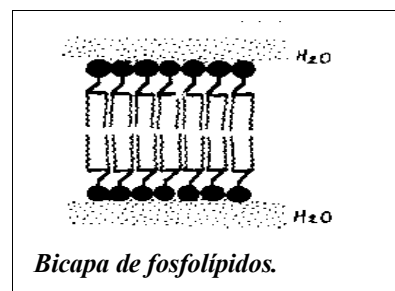
Membrana plasmática	Mitocondrias
Retículo endoplasmático granular y liso	Plastos
Aparato de Golgi	Vacuolas
Lisosomas	Envoltura nuclear
Peroxisomas	



CARÁCTER ANFIPÁTICO DE LOS LÍPIDOS.

Ciertos lípidos, y en particular los fosfolípidos, tienen una parte de la molécula que es polar: hidrófila y otra (la correspondiente a las cadenas carbonadas) que es no polar: hidrófoba. Las moléculas que presentan estas características reciben el nombre de **anfipáticas**. A partir de ahora representaremos la parte polar (hidrófila) y la no polar (hidrófoba) de un fosfolípido como se indica en la Fig.

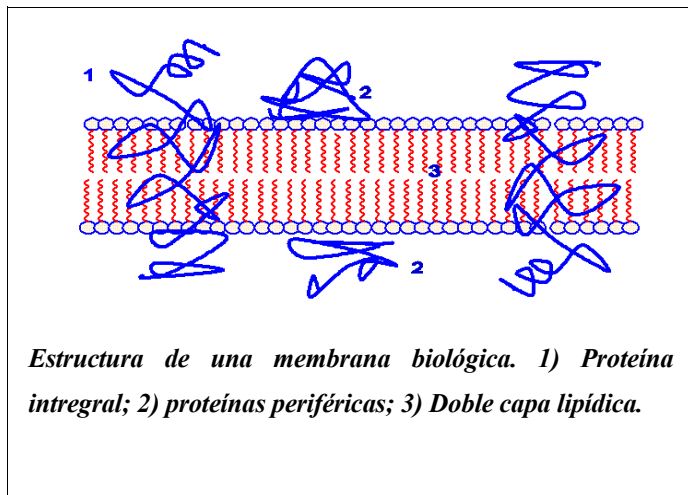
FORMACIÓN DE BICAPAS LIPÍDICAS



Si se dispersa por una superficie acuosa una pequeña cantidad de un lípido anfipático, se puede formar una capa de una molécula de espesor: **monocapa**. Esto es debido a que las partes hidrófilas se disponen hacia el interior y los grupos hidrófobos hacia el exterior de la superficie acuosa. Pueden también formarse **bicapas**, en particular entre dos compartimentos acuosos. Entonces las partes hidrófobas se disponen enfrentadas y las partes hidrófilas se colocan hacia la solución acuosa. Los lípidos anfipáticos forman este tipo de estructuras

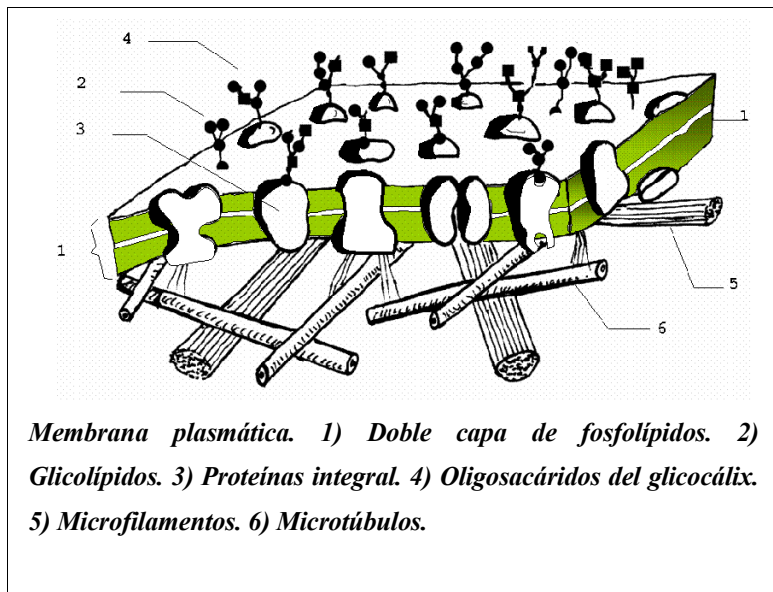
espontáneamente. Las bicapas pueden formar compartimentos cerrados denominados **liposomas**. La bicapas lipídicas poseen características similares a las de las membranas celulares: son permeables al agua pero impermeables a los cationes y aniones y a las grandes moléculas polares. En realidad, las membranas celulares son, esencialmente, bicapas lipídicas.

ESTRUCTURA EN MOSAICO DE LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS



Las membranas biológicas están constituidas por una doble capa de fosfolípidos con proteínas. Las proteínas se disponen formando una especie de “mosaico”. Algunas simplemente están adosadas a la membrana pero sin penetrar en la doble capa lipídica: **proteínas periféricas**, otras, **proteínas integrales**, la atraviesan una o varias veces. Las partes lipófilas de las proteínas quedan hacia el interior o hacia el exterior de la doble capa lipídica y las partes lipófilas se sitúan en su seno.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS



Las moléculas que constituyen las membranas se encuentran libres entre sí pudiendo desplazarse en el seno de la membrana, girar o incluso rotar, aunque esto último más raramente. Esto le da a la membrana su característica **fluidez**. Todos estos movimientos se realizan sin consumo de energía. La membrana mantiene su estructura por las diferencias de solubilidad entre los lípidos que la forman y el medio interno y externo, dado que tanto el exterior como el interior de la célula son disoluciones acuosas. Los

lípidos pueden presentar una menor o mayor movilidad en función de factores internos: cantidad de colesterol o de ácidos grasos insaturados, o externos: temperatura, composición de moléculas en el exterior, etc.

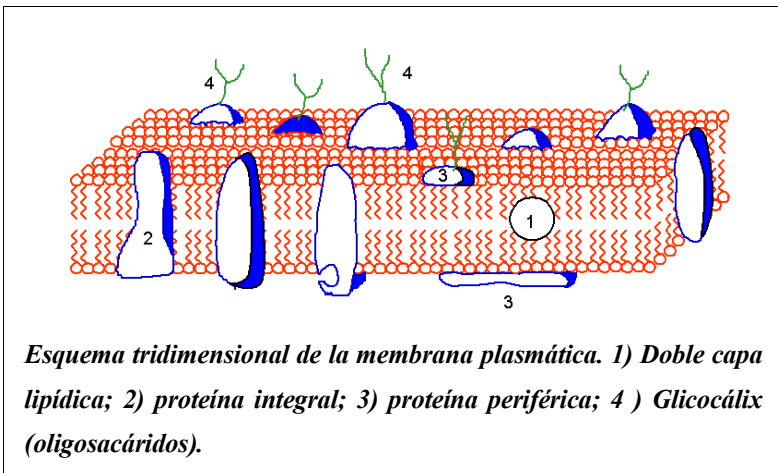
Otra característica de las membranas biológicas es su **asimetría**, debida a la presencia de proteínas distintas en ambas caras. Por lo tanto, las dos caras de la membrana realizarán funciones diferentes. Estas diferencias son de gran importancia a la hora de interpretar correctamente las funciones de las estructuras constituidas por membrana.

FLUJO DE SUSTANCIAS ENTRE LA CÉLULA Y EL EXTERIOR

LA MEMBRANA PLASMÁTICA. CONCEPTO

Es una fina membrana que limita y relaciona el interior de la célula, el **protoplasma**, con el exterior. Como toda membrana biológica está constituida sobre todo por lípidos y proteínas. En la membrana plasmática encontramos muchas proteínas diferentes. También hay oligosacáridos asociados a las proteínas y a los lípidos.

ESTRUCTURA EN MOSAICO FLUIDO DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA



La membrana plasmática es extraordinariamente delgada, teniendo un espesor medio de aproximadamente 10 nm, por lo que sólo se ve con el microscopio electrónico.

La estructura de la membrana plasmática es similar a la de cualquier otra membrana biológica. Está formada por una doble capa lipídica con proteínas. Estas se

encuentran en esta doble capa lipídica dispuestas formando una estructura en mosaico fluido. Ahora bien, la membrana plasmática presenta en la cara externa una estructura fibrosa que no se encuentra en las membranas de los orgánulos celulares, es el **glicocáliz**, constituido por **oligosacáridos**. Los oligosacáridos del glicocáliz están unidos tanto a los lípidos, **glicolípidos**, como a las proteínas, **glicoproteínas**. En la cara interna de la membrana plasmática las proteínas están asociadas a microtúbulos, a microfilamentos y a otras proteínas con función esquelética.

DIFERENCIACIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La membrana plasmática puede tener las siguientes diferenciaciones morfológicas:

MICROVELLOSIDADES. Las células que por su función requieren una gran superficie, por ejemplo, las que realizan la absorción de los nutrientes en el tubo digestivo, tienen una membrana con una gran cantidad de repliegues que reciben el nombre de microvellosidades.

DESMOSOMAS. Se dan en células que necesitan estar fuertemente soldadas con sus vecinas; por ejemplo: las células de la epidermis de las mucosas. En ellas, el espacio intercelular se amplía en la zona de los desmosomas y por la parte interna de ambas membranas se dispone una sustancia densa asociada a finos filamentos (tonofilamentos), lo que da a estas uniones una gran solidez.

UNIONES IMPERMEABLES. Se dan entre células que forman barreras que impiden el paso de sustancias, incluso del agua. En ellas, el espacio intercelular desaparece y las membranas de ambas células se sueldan.

MECANISMOS DE FUSIÓN DE MEMBRANAS

La fluidez de los componentes de la membrana plasmática permite su crecimiento por fusión con membranas provenientes de otros orgánulos celulares, como las llamadas vesículas de exocitosis. Éstas van a poder fusionarse con la membrana. De esta manera, las sustancias que puedan contener las vesículas pasan al exterior. Al mismo tiempo, los componentes de la membrana de la vesícula se integran en la membrana plasmática haciéndola crecer.

FUNCIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La membrana plasmática va a realizar las siguientes funciones:

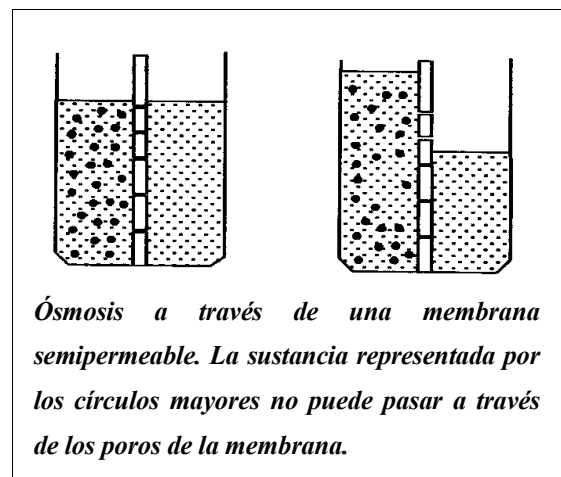
- Intercambios.
- Receptora.
- Reconocimiento

SEMIPERMEABILIDAD DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA (PERMEABILIDAD SELECTIVA)

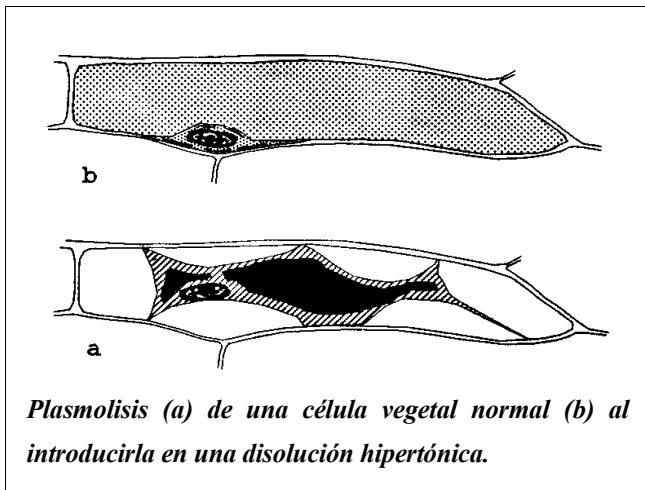
Las membranas biológicas se comportan en cierto modo como membranas **semipermeables** pues permiten el paso del agua pero no permiten el paso de ciertos solutos. Así, van a permitir el paso de pequeñas moléculas, sobre todo si son no polares. Por el contrario, las moléculas voluminosas o las fuertemente cargadas, por ejemplo: los iones, quedarán retenidas. Ahora bien, como veremos más adelante, determinados mecanismos van a permitir que atraviesen la membrana algunas moléculas que por su composición o tamaño no podrían hacerlo. Esto es, las membranas biológicas tienen **permeabilidad selectiva**. De este modo la célula asegura un medio interno diferente del exterior.

ÓSMOSIS

Si ponemos en un recipiente una membrana semipermeable y a un lado de la membrana se pone, por ejemplo, una disolución concentrada de glucosa en agua y al otro lado una disolución diluida, el agua pasa desde la más diluida a la más concentrada. Este proceso se denomina **ósmosis** y la presión necesaria para contrarrestar el paso del agua se llama **presión osmótica**.



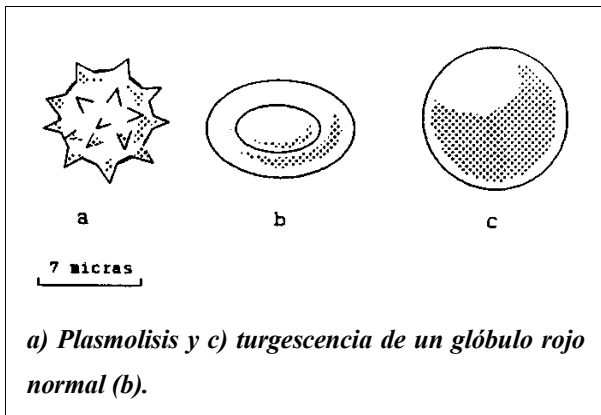
Al medio que tiene una mayor concentración en partículas que no pueden atravesar la membrana (solutos), se le denomina **hipertónico**, mientras que al menos concentrado en solutos se le llama **hipotónico**. Si dos disoluciones ejercen la misma presión osmótica, por tener la misma concentración de partículas que no se pueden difundir a ambos lados de la membrana semipermeable, diremos que son **isotónicas**. Es de destacar que podemos tener dos disoluciones diferentes a ambos lados de una membrana semipermeable y, sin embargo, ambas ser isotónicas entre sí. Así, por



ejemplo, si a un lado de una membrana semipermeable tenemos una disolución 0,1 molal de glucosa y al otro lado una disolución 0,1 molal de fructosa, ambas disoluciones son distintas, pero como tienen el mismo número de partículas de soluto por unidad de volumen, ambas ejercerán la misma presión osmótica.

LAS CÉLULAS Y LA PRESIÓN OSMÓTICA

El interior de la célula es una compleja disolución que normalmente difiere del medio extracelular. La membrana de la célula, membrana plasmática, se comporta como una membrana semipermeable.



Cuando una célula se encuentra en un medio hipertónico, el hialoplasma y el interior de los orgánulos formados por membranas, por ejemplo: las vacuolas de las células vegetales, pierden agua, produciéndose la **plasmolisis** del contenido celular. Por el contrario, si la célula se introduce en una disolución hipotónica se producirá una penetración del disolvente y la célula se hinchará: **turgencia** o **turgescencia**. En las células vegetales la turgencia no suele presentar un grave problema pues están protegidas por una gruesa pared celular. En las células animales la turgencia puede acarrear la rotura de la membrana plasmática. Así, los glóbulos rojos, introducidos en agua destilada, primero se hinchan y después explotan (**hemolisis**) liberando el contenido celular³.

presentar un grave problema pues están protegidas por una gruesa pared celular. En las células animales la turgencia puede acarrear la rotura de la membrana plasmática. Así, los glóbulos rojos, introducidos en agua destilada, primero se hinchan y después explotan (**hemolisis**) liberando el contenido celular³.

TRANSPORTE DE SUSTANCIAS A TRAVÉS DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La célula necesita sustancias para su metabolismo. Como consecuencia de éste se van a producir desechos que la célula precisa eliminar. Así pues, a través de la membrana plasmática se va a dar un continuo transporte de sustancias en ambos sentidos. Según la dirección de este y el tipo de sustancia tendremos:

³ La presión osmótica de nuestras células está entre 7 y 8 atm, que se corresponde con la que ejercería una disolución conteniendo 9,596 g/l de NaCl. En nuestro organismo existe un órgano especializado en regular la presión osmótica, se trata del riñón. Su misión, entre otras, es la de extraer agua y sales del plasma sanguíneo manteniendo así estable la concentración de solutos y por lo tanto la presión osmótica. La presión osmótica interviene en muchos otros procesos biológicos; por ejemplo en los que determinan la absorción y transporte de la savia en los vegetales y en el movimiento en ciertos animales.

En ciertos organismos unicelulares de las aguas dulces, por ejemplo, el paramecio, al vivir en agua dulce, su citoplasma es hipertónico con respecto al exterior, por lo que se produce una entrada continua de agua. No obstante disponen de unos orgánulos: las vacuolas pulsátiles, que extraen el agua del citoplasma y la expulsan al exterior.

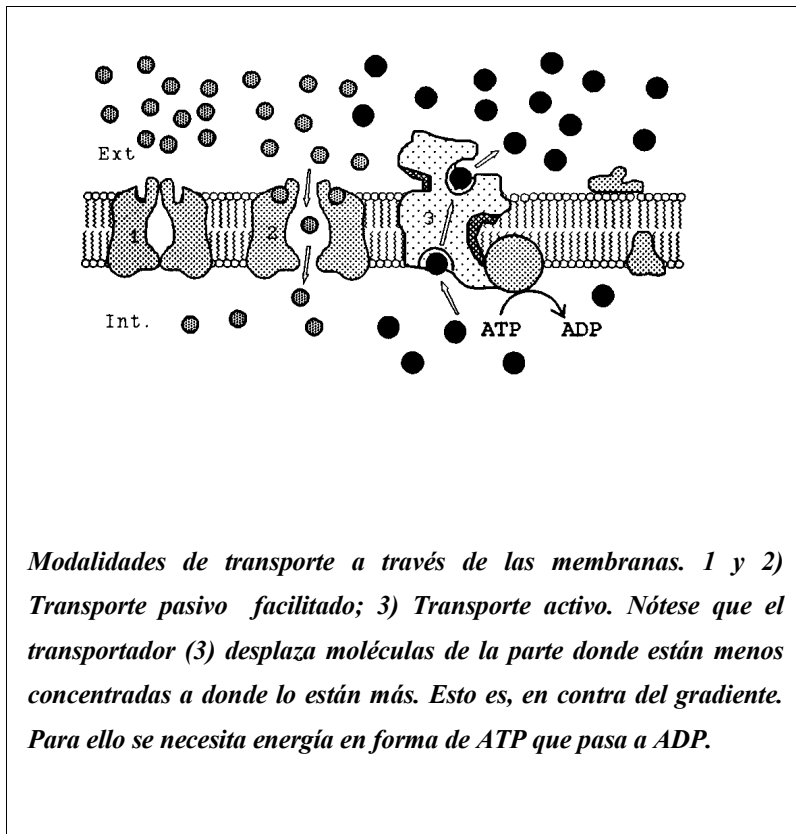
-Ingestión: Es la entrada en la célula de aquellas sustancias necesarias para el metabolismo celular.

-Excreción: Salida de los productos de desecho.

-Secreción: Si lo que sale no son productos de desecho sino sustancias destinadas a la exportación.

Aunque vamos a referirnos únicamente al transporte a través de la membrana plasmática, deberá tenerse en cuenta que los fenómenos de transporte que estudiaremos a continuación se dan también a través de las membranas biológicas de los orgánulos formados por membranas: retículo, aparato de Golgi, lisosomas, vacuolas, mitocondrias y plastos. Mediante estos fenómenos la célula asegura un medio interno diferente y funciones distintas en cada uno de los orgánulos formados por membranas.

A) EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS EN FORMA MOLECULAR A TRAVÉS DE LAS MEMBRANAS



En el caso de sustancias disueltas, según se consuma o no energía, distinguiremos los siguientes tipos de transporte:

D) Transporte pasivo: Se realiza a favor del gradiente de concentración y sin gasto de energía. Puede ser de dos tipos:

A) **Transporte pasivo simple (difusión simple)**. Ciertas sustancias como las pequeñas moléculas lipídicas pueden atravesar libremente la membrana. Algunas moléculas polares como los iones, que no pueden atravesar la doble capa lipídica, necesitan para difundirse canales acuosos formados por **proteínas canal**.

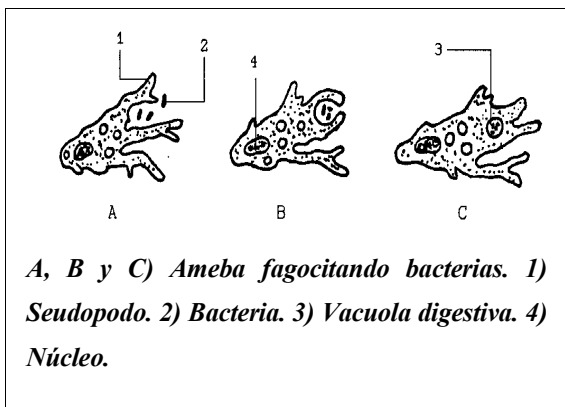
B) **Transporte pasivo facilitado (difusión facilitada)**. Se realiza mediante moléculas protéicas específicas: **permeasas**, que captan las moléculas a transportar en la parte en la que la sustancia está más concentrada y, mediante cambios en su conformación, las pasan a la zona de menor concentración, salvando la doble capa lipídica. De esta manera atraviesan las membranas moléculas hidrófilas, como monosacáridos y algunos aminoácidos. Este tipo de transporte tampoco requiere un consumo de energía pues se realiza a favor del gradiente de concentración.

II) **Transporte activo.** Es necesario si el transporte se realiza en contra del gradiente de concentración o eléctrico⁴. Para este tipo de transporte se precisan transportadores específicos instalados en la membrana, siempre proteínas, que mediante un gasto de energía en forma de ATP, transportan sustancias a través de ésta. Se transportan así todo tipo de moléculas en contra del gradiente, como ya se ha dicho.

B) TRANSPORTE CITOQUÍMICO

Permite la entrada o la salida de la célula de partículas o grandes moléculas envueltas en una membrana. Se trata de un mecanismo que sólo es utilizado por algunos tipos de células, por ejemplo: amebas, macrófagos o las células del epitelio intestinal. Según que las sustancias entren o salgan de la célula distinguiremos:

I) **ENDOCITOSIS.** Si las sustancias entran en la célula envueltas en vesículas formadas a partir de la membrana plasmática. Este mecanismo implica una deformación de la membrana y la formación de vacuolas. Se trata de un tipo de transporte de gran importancia en ciertas células, como por ejemplo, en los macrófagos y en las amebas.



Distinguiremos dos tipos de endocitosis: la fagocitosis y la pinocitosis

a) **Fagocitosis:** Es la ingestión de grandes partículas sólidas (bacterias, restos celulares, etc.) por medio de pseudópodos. Los pseudópodos son grandes evaginaciones de la membrana plasmática que envuelven a la partícula. Ésta pasa al citoplasma de la célula envuelta en la membrana formando una **vacuola fagocítica**. A estas vacuolas se les unen los lisosomas que descargan en ellas las enzimas hidrolíticas que contienen produciéndose la digestión de los componentes ingeridos.

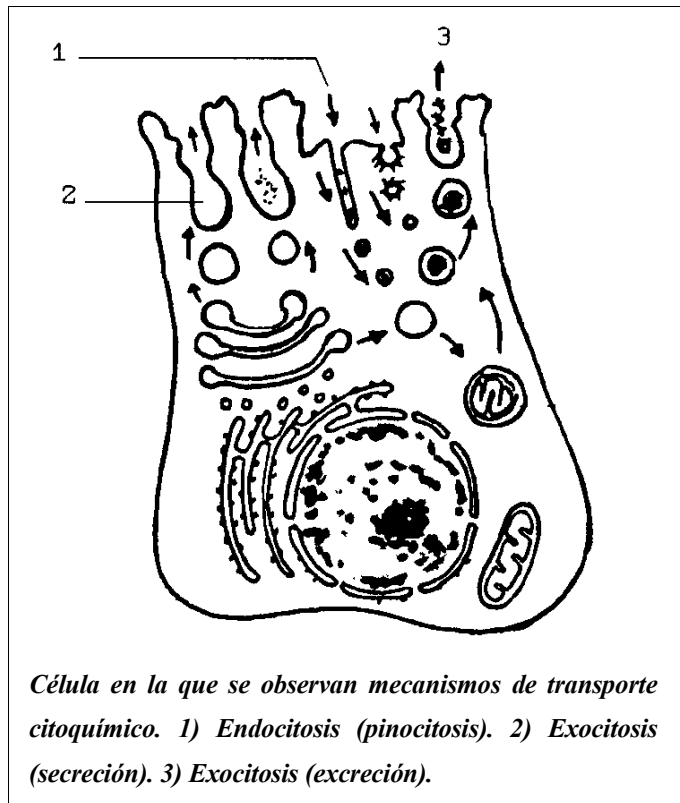
Durante este proceso, las moléculas complejas (polímeros) de las partículas fagocitadas se transforman en moléculas más simples (monómeros) que son transportadas hacia el hialoplasma para ser utilizadas. Como ya se ha dicho, este tipo de ingestión la encontramos, por ejemplo, en las amebas y en los macrófagos.

b) **Pinocitosis.** Es la ingestión de sustancias disueltas en forma de pequeñas gotitas líquidas que atraviesan la membrana al invaginarse ésta. Se forman así pequeñas vacuolas llamadas **vacuolas pinocíticas** que pueden reunirse formando vacuolas de mayor tamaño.

II) **EXOCITOSIS:** Consiste en la secreción o excreción de sustancias por medio también de vacuolas, **vesículas de exocitosis**, que se fusionan con la membrana plasmática abriéndose al exterior y expulsando su contenido. Las vacuolas provienen de los sistemas de membranas o de la endocitosis. La membrana de la vacuola queda incluida en la membrana celular, lo que es normal teniendo en cuenta que ambas membranas poseen la misma estructura.

⁴ Puede darse el caso de que el interior y el exterior de la célula sean isotónicos pero que exista una diferencia en el potencial eléctrico que impida el paso de los iones. Así, por ejemplo, entre el interior y el exterior de la neurona hay una diferencia de potencial de 70 mV, estando el interior cargado negativamente respecto al exterior. En este caso, los iones positivos tendrán dificultades para salir de la célula, incluso si esta salida se realiza a favor de la presión osmótica.

En todos los mecanismos de endocitosis hay una disminución de la membrana plasmática al introducirse ésta en el citoplasma. Esta disminución es compensada por la formación de membranas por exocitosis. Debido a esto, la membrana plasmática está en las células que tienen muy activos estos mecanismos en un continuo proceso de renovación. Así, por ejemplo, en un macrófago toda su membrana es ingerida en 30 min.



Célula en la que se observan mecanismos de transporte citoquímico. 1) Endocitosis (pinocitosis). 2) Exocitosis (secreción). 3) Exocitosis (excreción).

EL MEDIO INTERNO CELULAR

EL HIALOPLASMA

Si retiramos los orgánulos del citoplasma obtendremos una disolución constituida por agua, sales minerales y moléculas orgánicas, proteínas fundamentalmente. Esta disolución es el **hialoplasma**. Entre las proteínas unas son enzimáticas y otras estructurales.

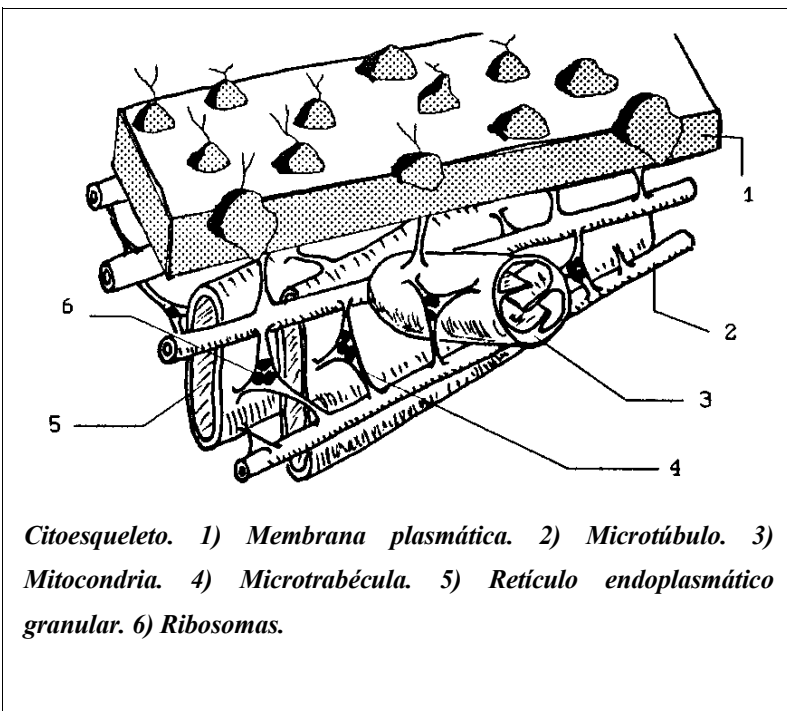
En el hialoplasma se van a realizar gran cantidad de procesos químicos: la síntesis de proteínas, la glucólisis y las primeras fases de la degradación de las grasas y de algunos aminoácidos. El hialoplasma es un **medio de reacción**.

Las proteínas estructurales van a formar estructuras tubulares, el **citoesqueleto** y el **centrosoma**, responsables de la forma de la célula, del movimiento por cilios y flagelos y de la separación de los cromosomas en la división celular.

El hialoplasma, al tener grandes moléculas, va a sufrir transformaciones en el estado solgel. Estas transformaciones darán lugar al movimiento **ameboide** y a los fenómenos de **ciclosis**.

EL CITOESQUELETO

Es un verdadero armazón interno celular. Está constituido fundamentalmente por unos finos tubos: los **microtúbulos**.



El citoesqueleto es el responsable sobre todo de la forma de la célula.

Los **microtúbulos** son pequeños cilindros huecos. Están unidos a la membrana celular, a los orgánulos y a la envoltura nuclear formando una compleja red bajo la membrana plasmática y alrededor del núcleo celular. Los microtúbulos se forman a partir de unas proteínas globulares denominadas **tubulinas** que se unen entre sí formando estructuras tubulares. Además de los microtúbulos en el hialoplasma hay también otros tipos de estructuras filamentosas.

FUNCIONES DEL CITOESQUELETO

Los microtúbulos representan un papel de gran importancia en el movimiento celular. La capacidad de estas estructuras para formarse y destruirse (polimerizarse y despolimerizarse) con gran rapidez es la responsable de fenómenos tales como la variación de la forma celular y de los movimientos celulares tanto intra como extracitoplasmáticos.

A) Movimientos intracelulares de los orgánulos. Los microtúbulos pueden constituir un soporte sobre el que los orgánulos (mitocondrias, plastos, vesículas, cromosomas, etc.) van a poder desplazarse por el interior del citoplasma.

B) Movimientos extracelulares. Cilios y flagelos son prolongaciones citoplasmáticas que aseguran los movimientos de la célula o de los fluidos alrededor de ésta. Estas estructuras reciben el nombre de orgánulos vibrátiles de la célula. Ambos tienen la misma estructura, pero los cilios son cortos y numerosos, mientras los flagelos son largos y poco numerosos. Los vamos a encontrar en organismos unicelulares y pluricelulares, tanto animales como vegetales. Así, el interior de nuestros órganos respiratorios se encuentra recubierto por células con cilios que forman el epitelio vibrátil o ciliado, y lo mismo ocurre en las trompas de Falopio del aparato genital femenino. Tienen flagelos muchos organismos unicelulares, la mayoría de los gametos masculinos de los animales y muchos de los vegetales (algas, musgos, helechos).

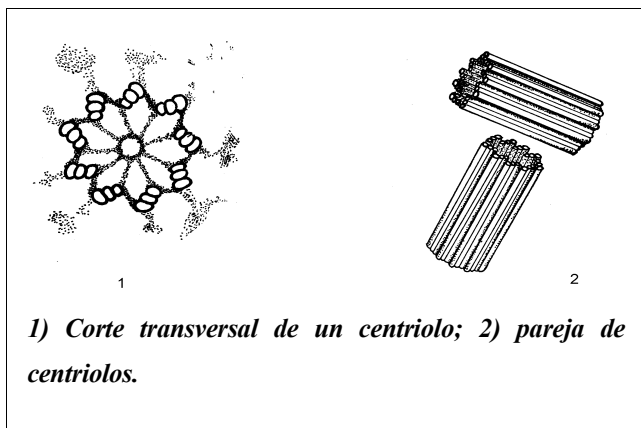
Si hacemos un corte transversal a un flagelo o a un cilio y lo observamos a gran aumento al MET, veremos que presenta 9 pares de microtúbulos. En el interior se encuentran dos microtúbulos centrales y todo ello está rodeado por la membrana plasmática. En la base de cada cilio o flagelo hay una estructura denominada **corpúsculo basal**. Los corpúsculos basales tienen una estructura similar, en cierto modo, a la de los centriolos.

Dato: Los microtúbulos de cilios y flagelos se deslizan unos sobre otros rápidamente batiendo a un ritmo de 500 a 1000 veces por minuto.

EL CENTROSOMA y LOS CENTRIOLOS

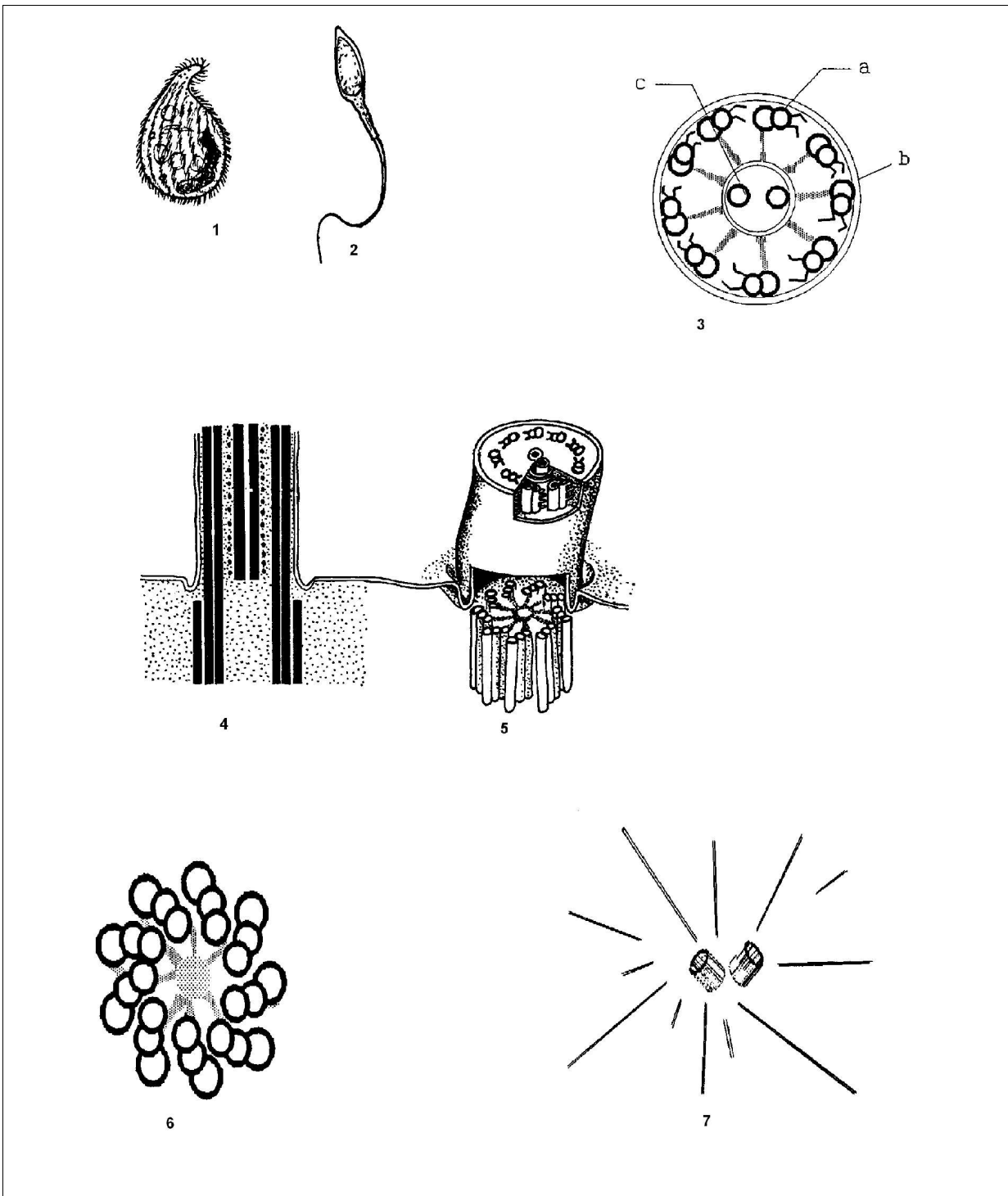
Es un centro organizador de microtúbulos. Se encuentra tanto en las células animales como en las vegetales. En las células animales, además, encontramos unas estructuras denominadas **centriolos**.

Los centriolos son elementos permanentes de la célula animal. Vistos al MET tienen forma de barril. Son dos



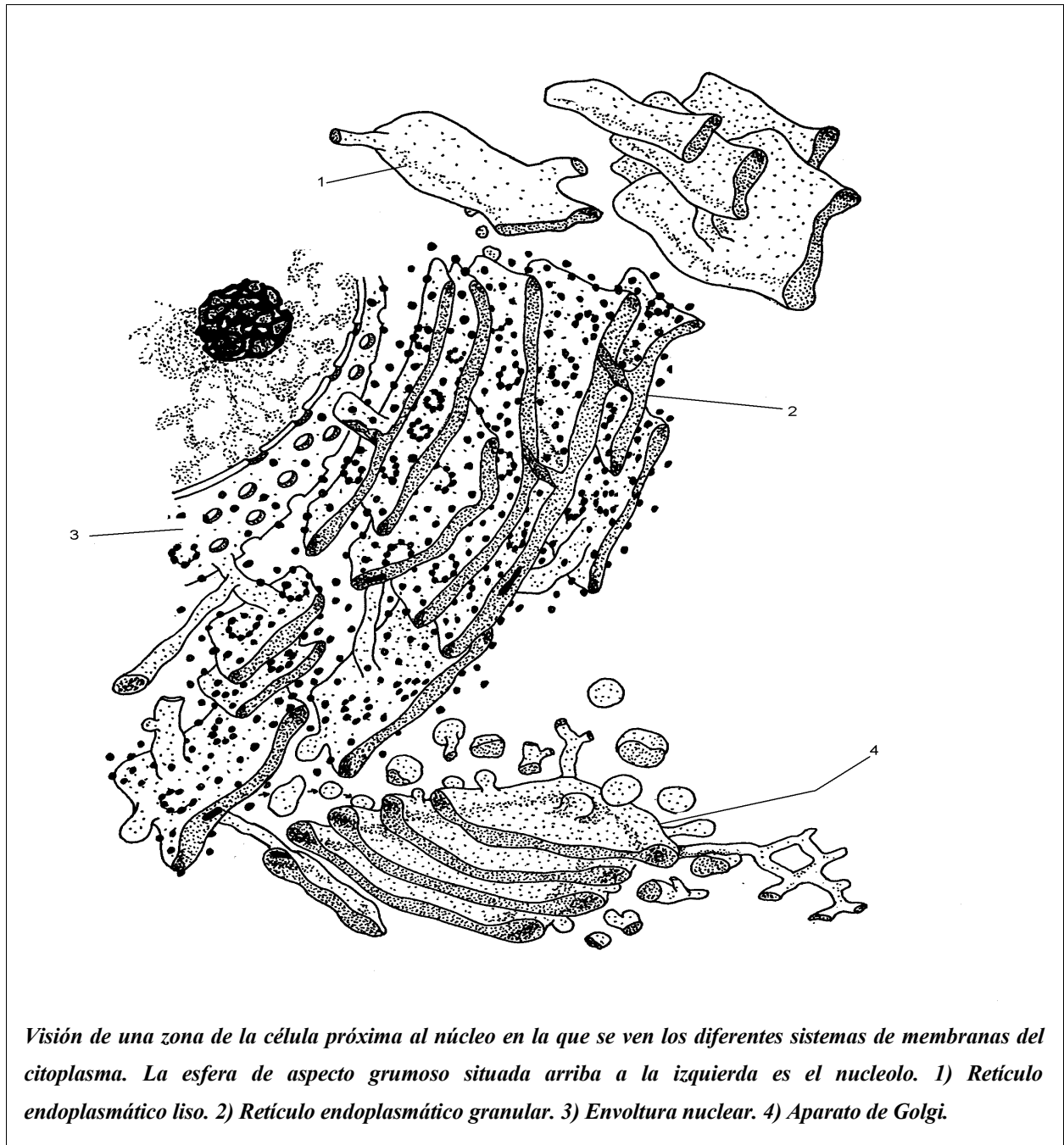
estructuras cilíndricas de 0.5 μm situadas perpendicularmente una a la otra. Están constituidos por 9 triplas de cortos microtúbulos.

El centrosoma es muy importante en los procesos de división celular. En ella a partir del centrosoma se originará una estructura llamada **huso acromático** responsable del desplazamiento de los cromosomas a polos opuestos de la célula.



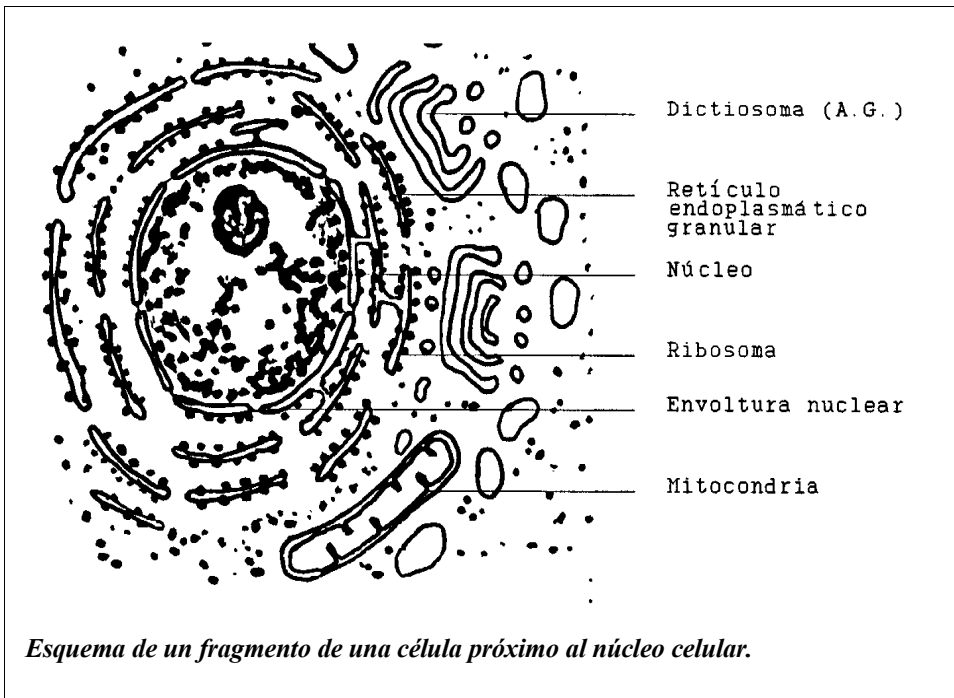
Estructuras relacionadas con los microtúbulos. 1) Ciliado; 2) flagelado; 3) corte transversal de un cilio: a) par de microtúbulos, b) membrana ciliar, c) microtúbulos centrales; 4) corte longitudinal de un cilio; 5) sección de un cilio, obsérvese el corpúsculo basal; 6) corte transversal de un centriolo; 7) centrosoma de una célula animal. Se observan la pareja de centriolos y las fibras del áster.

SISTEMAS DE MEMBRANAS DEL CITOPLASMA



Visión de una zona de la célula próxima al núcleo en la que se ven los diferentes sistemas de membranas del citoplasma. La esfera de aspecto grumoso situada arriba a la izquierda es el nucleolo. 1) Retículo endoplasmático liso. 2) Retículo endoplasmático granular. 3) Envoltura nuclear. 4) Aparato de Golgi.

El citoplasma se encuentra compartimentado por un complejo sistema de estructuras formadas por membranas biológicas relacionadas entre sí tanto físicamente como por la función que realizan, por lo que las estudiaremos conjuntamente.



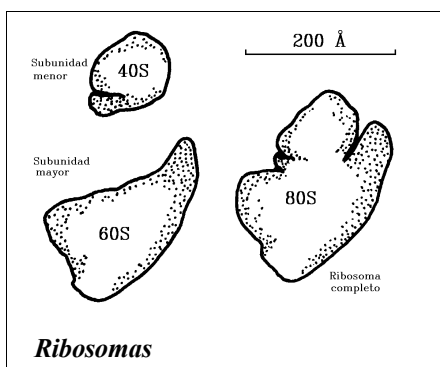
Estos orgánulos o estructuras son:

- El retículo endoplasmático:
 - granular (REG)
 - liso (REL)
- El aparato de Golgi (AG)
- Los lisosomas
- Los peroxisomas
- Las vacuolas

EL RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO (RE)

Es un complejo sistema de tubos, sacos y cisternas constituidos por membranas biológicas que pueden ocupar una gran parte de la célula.

Existen dos tipos de retículo endoplasmático: el **retículo endoplasmático rugoso o granular (REG)** y el **retículo endoplasmático liso (REL)**. El REG tiene adheridos a las membranas unos gránulos: **los ribosomas**, en el REL no existen éstos gránulos y sus estructuras tienen formas más tubulares. Ambos tipos de retículo también se diferencian en la función.



Los ribosomas son pequeños orgánulos invisibles al microscopio óptico y poco visibles al electrónico. Se encuentran en gran número en el citoplasma y pueden estar libres o adheridos a las membranas del retículo endoplasmático granular. Los que están adheridos al REG intervienen en la síntesis de las proteínas de las membranas o de aquellas destinadas al exterior. Los ribosomas están constituidos básicamente por proteínas y ARNr (40% de proteínas y 60% de ARN ribosomal). Están formados por dos subunidades: la subunidad mayor y la subunidad menor. En el

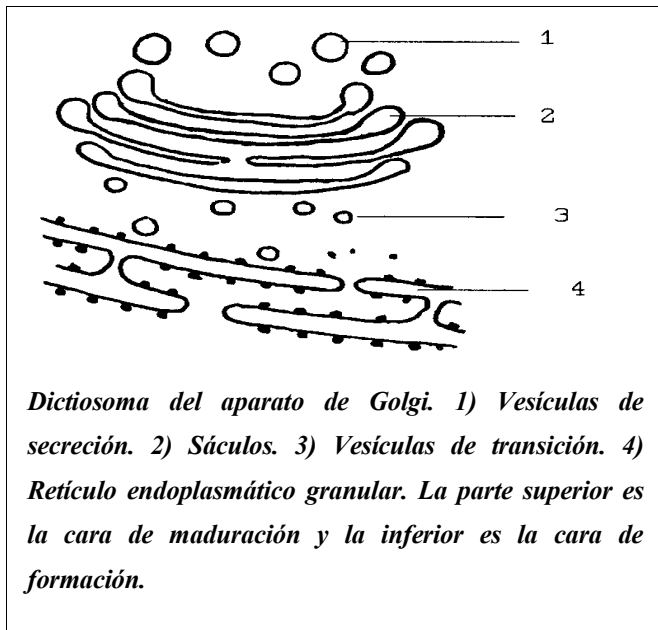
citoplasma ambas están separadas pero pueden volver a unirse en el momento de la síntesis de proteínas.

Las estructuras que forman el retículo endoplasmático granular se disponen generalmente en capas concéntricas paralelas al núcleo celular (como las hojas del bulbo de una cebolla). Es de destacar que la envoltura nuclear es en realidad una estructura derivada del retículo endoplasmático.

El retículo endoplasmático granular (REG) está muy desarrollado en las células que por su función deben de realizar una activa labor de síntesis, como es el caso de las células del páncreas y las células hepáticas. Si un animal es sometido a un ayuno prolongado, el REG de sus células pancreáticas se reduce considerablemente. Por el contrario, si se le

suministra una rica dieta alimenticia el REG se recupera. Esta recuperación se realiza a partir de zonas próximas a la envoltura nuclear.

EL APARATO DE GOLGI (AG)



Está formado por unos conjuntos de sacos concéntricos: **sáculos**, muy apretados, mucho más concentrados y de menor tamaño que los del retículo endoplasmático granular. Cada conjunto de sacos recibe el nombre de **dictiosoma**. El número de dictiosomas por célula varía entre 5 ó 6 a algunas decenas, en función del tipo de célula y de su estado funcional. Todos ellos se encuentran relacionados físicamente y por su y función.

Los dictiosomas presentan dos caras: una convexa, la **cara de formación**, y otra cóncava, la **cara de maduración**.

El AG se encuentra en permanente transformación. Sus sáculos se forman de manera continua por su cara de formación a partir de vesículas (**vesículas de transición**) que se desprenden del REG, y se desintegran para formar las **vesículas de secreción** que se originan en la cara de maduración.

El aparato de Golgi se encuentra muy desarrollado en las células que realizan funciones de secreción, como las células secretoras de mucus del epitelio intestinal.

Los dictiosomas son el sistema de transformación (maduración), embalaje y empaquetamiento de ciertas sustancias químicas, sobre todo de proteínas y glicoproteínas, para su almacenamiento o secreción.

LOS LISOSOMAS

Los lisosomas son pequeñas vesículas constituidas por membranas provenientes de los sistemas de membranas (AG y, ocasionalmente, REG). Se caracterizan por tener en su interior enzimas hidrolíticas, enzimas que rompen los enlaces de los polímeros por adición de H₂O. Estas enzimas están empaquetadas en los lisosomas para evitar que puedan destruir las propias estructuras celulares.

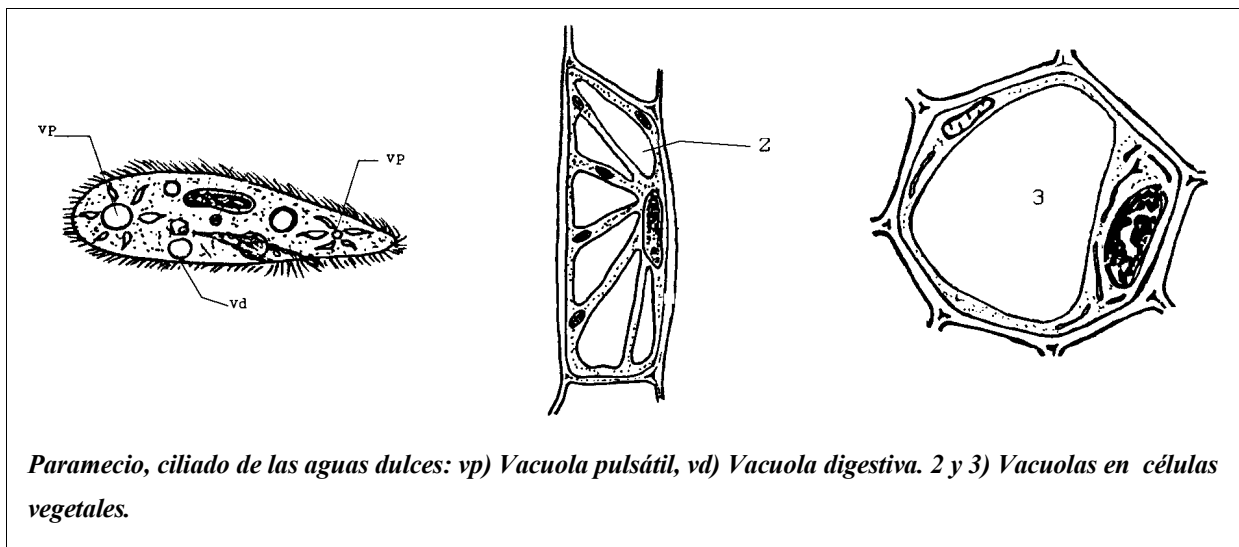
Los lisosomas se originan en los dictiosomas del aparato de Golgi, y en algunos casos en ciertas regiones del retículo endoplasmático granular, a partir de vesículas que se destacan de los sáculos de los dictiosomas.

LOS PEROXISOMAS

Son parecidos a los lisosomas, diferenciándose de estos en que contienen enzimas que degradan los ácidos grasos y los aminoácidos. Como estos procesos generan peróxidos, contienen también catalasa, enzima que descompone los peróxidos y en particular el H_2O_2 en H_2O y O_2 . Sólo se encuentran en las células animales.

LAS VACUOLAS

Son estructuras celulares variables en número y forma. En general están constituidas por una membrana y un contenido. Hay diferencias entre las vacuolas de las células vegetales y las de las animales. Las células vegetales es frecuente que presenten una única o unas pocas vacuolas de gran tamaño. Las células animales, en el caso de tener vacuolas, son de pequeño tamaño.



Las vacuolas se originan por la agregación de las pequeñas vesículas formadas a partir de los dictiosomas de aparato de Golgi o por invaginación de la membrana plasmática (endocitosis).

Las vacuolas, en general, tienen función de almacenamiento de sustancias de reserva y, en ciertos casos, de almacenamiento de sustancias tóxicas.

Existen otras estructuras que se llaman también vacuolas pero cuya función es muy diferente. Así:

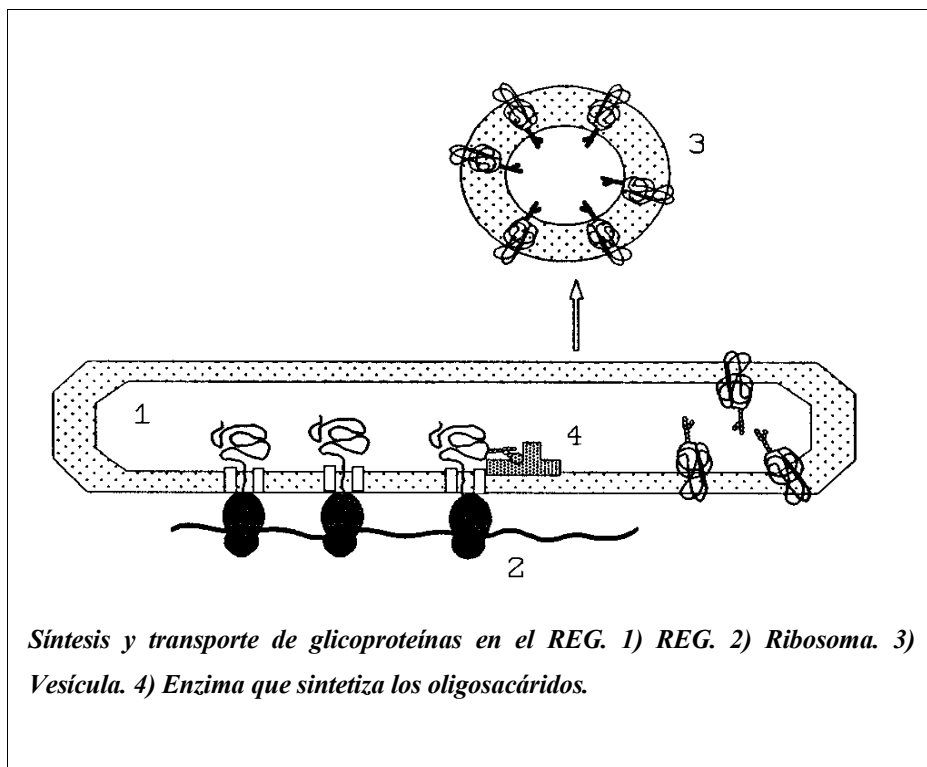
Las vacuolas pulsátiles, como las que se observan en muchos organismos unicelulares de las aguas dulces, por ejemplo, el paramecio. Este organismo, al vivir en agua dulce, su citoplasma es hipertónico con respecto al exterior, por lo que se produce una entrada continua de agua. Las vacuolas pulsátiles extraen el agua del citoplasma y la expulsan al exterior.

Las vacuolas digestivas. Se dan en las células que capturan alimentos del medio y los engloban en una membrana formando una vacuola llamada vacuola digestiva. En esta vacuola es donde se va a producir la digestión de esas

sustancias nutritivas. Una vez digeridas pasan al interior de la célula y los productos de desecho son eliminados hacia el exterior.

FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE MEMBRANAS

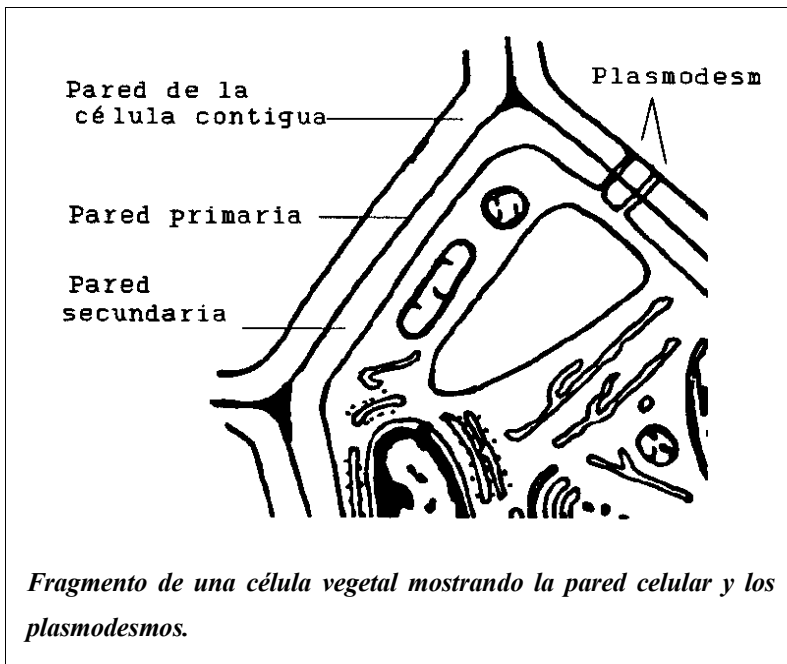
Los sistemas de membranas están relacionados con la síntesis, maduración y transporte de proteínas y glicoproteínas. Intervienen, sobre todo, en los procesos subsiguientes a la síntesis de las proteínas de secreción, las proteínas de las membranas y las enzimas de los lisosomas. Muchas de estas proteínas son glicoproteínas. La parte protéica se sintetiza en el hialoplasma y de aquí pasa al interior del REG y del A. Golgi donde se le añaden los oligosacáridos (maduración de las glicoproteínas). Después se dirigirán, por medio de las vesículas de secreción que se desprenden del Golgi, para formar los lisosomas, para integrarse en la membrana plasmática o para la exportación.



LA PARED CELULAR

La pared de las células vegetales (pared celular, pared celulósica o membrana de secreción) es una estructura característica de éstas. Su función principal es la de constituir una especie de esqueleto externo de la célula vegetal y servir de protección frente a los cambios osmóticos y de sostén, dando forma a la célula vegetal.

La pared celular está formada por moléculas de celulosa dispuestas muy ordenadas, lo que le da una gran resistencia. Además puede estar impregnada en sustancias que le dan propiedades especiales como **lignina** (en las células del leño) que le aporta rigidez, **suberina** (en las células de la corteza-corcho) o cutina (cera, en frutos y hojas) que les aportan impermeabilidad.



La celulosa está formada por moléculas de glucosa unidas entre sí mediante enlaces β 1-4. Esto hace que las moléculas de celulosa adopten una conformación lineal y que se puedan establecer puentes de hidrógeno entre moléculas dispuestas en paralelo formando. La pared celular no es un orgánulo celular sino un producto de secreción de la célula que deposita en su exterior estas sustancias concéntricamente. La pared celular aparece además atravesada por una gran cantidad, hasta 20 000 en ciertos casos, de finísimos conductos denominados

plasmodesmos. Los plasmodesmos comunican el protoplasma de las células contiguas que, en cierto modo, forman una unidad.

En la pared celular distinguiremos, de dentro hacia fuera de la célula, la **pared secundaria**, la **pared primaria** y la **laminilla media**.

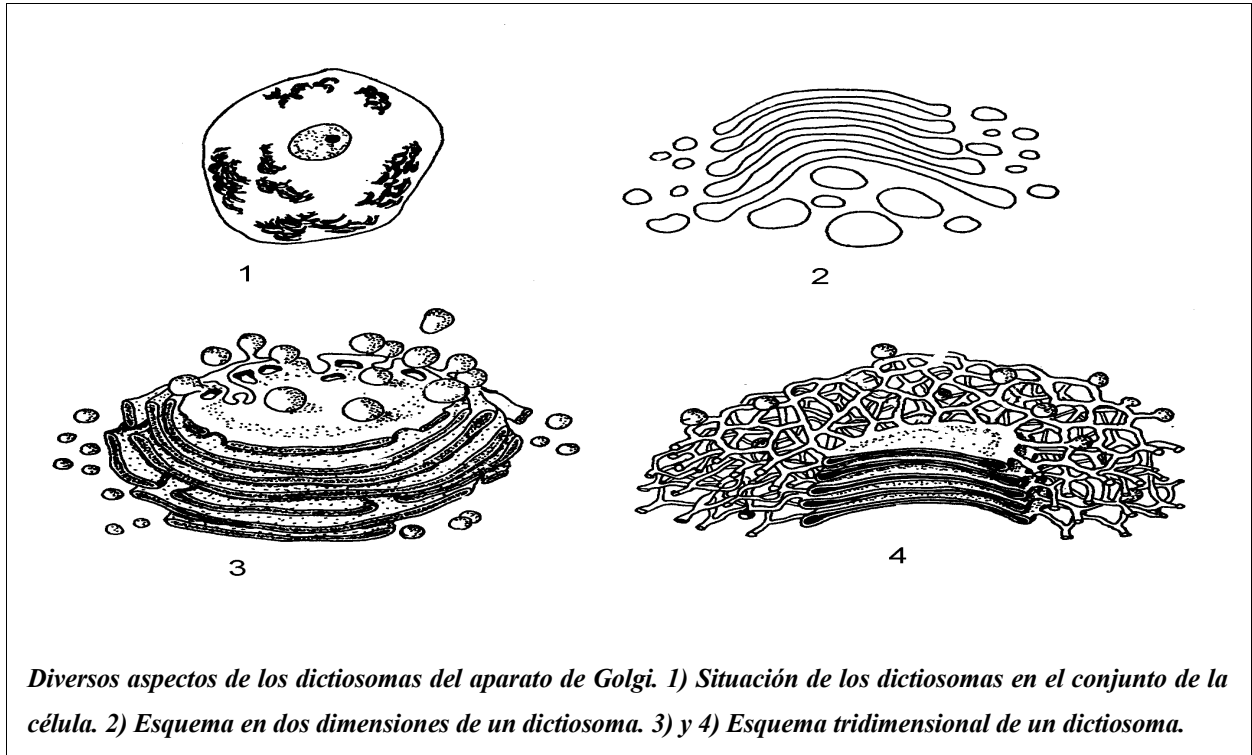
- La pared secundaria, más gruesa y resistente, crece bajo la primera y se la encuentra principalmente en células que están ya diferenciadas.
- La pared primaria está formada por microfibrillas de celulosa más desordenadas y es la única que está presente en células jóvenes y en células que se dividen activamente.
- La laminilla media. Difícil de ver al microscopio. Está formada por sustancias pécticas y mantiene unidas a las células contiguas.

En el aparato de Golgi se produce la polimerización de los polisacáridos y, en particular, la síntesis de la celulosa que constituye la sustancia fundamental de las paredes de las células vegetales.

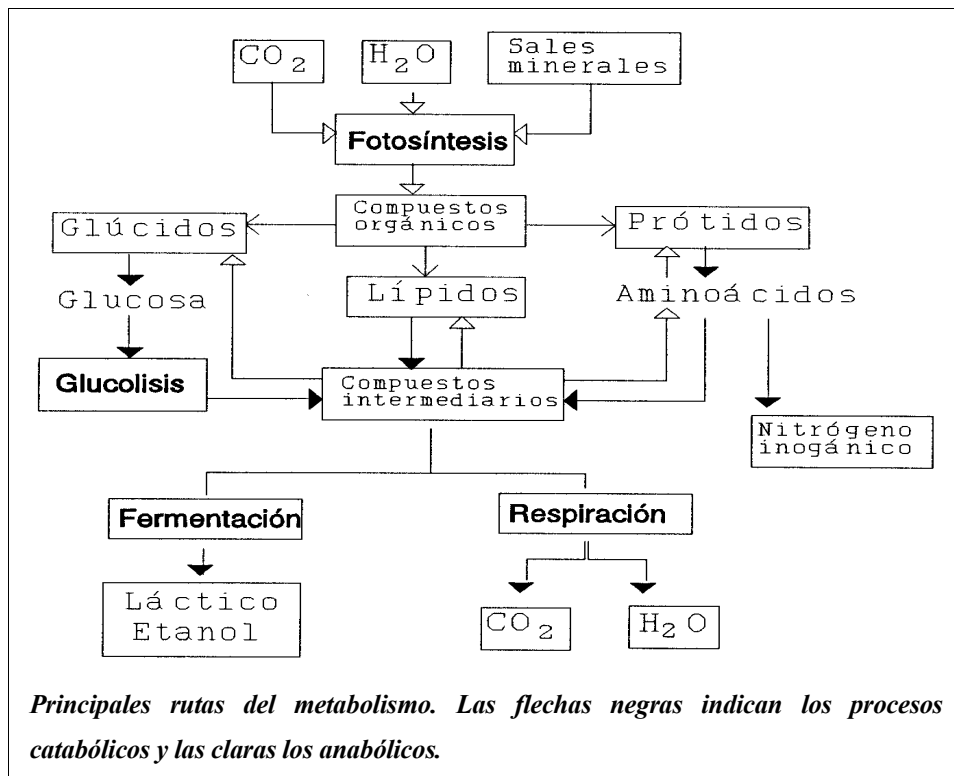
3) FUNCIONES DEL RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO LISO (REL)

El retículo endoplasmático liso está relacionado con el metabolismo (síntesis, degradación y transporte) de los lípidos. Las hormonas esteroídicas son sintetizadas en el REL. Se ha observado que también interviene en los procesos para metabolizar ciertos medicamentos y determinadas sustancias tóxicas.

EL APARATO DE GOLGI



EL METABOLISMO CELULAR: GENERALIDADES



EL METABOLISMO: CONCEPTO

La nutrición de las células supone una serie de complejos procesos químicos catalizados por enzimas que tienen como finalidad la obtención de materiales y/o energía. Este conjunto de procesos recibe el nombre de **metabolismo**.

El metabolismo va a poder descomponerse en dos series de reacciones:

Anabolismo. Son aquellos procesos químicos que se producen en la célula y que tienen como finalidad la obtención de sustancias orgánicas complejas a partir de sustancias más simples con un consumo energía. Son anabólicos, por ejemplo, la fotosíntesis, la síntesis de proteínas o la replicación del ADN.

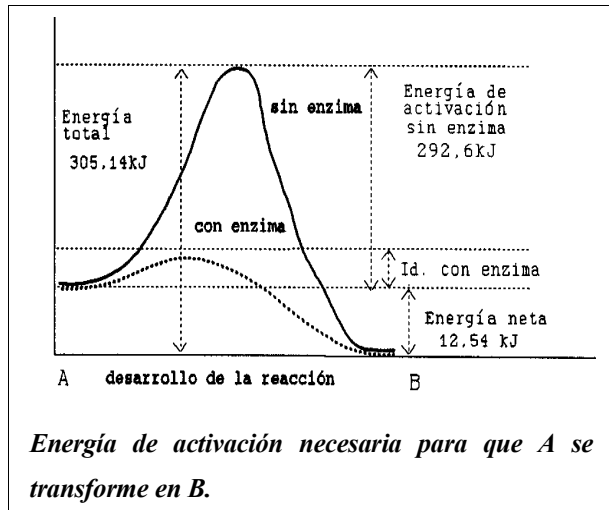
Catabolismo. En estos procesos las moléculas complejas son degradadas formándose moléculas más simples. Se trata de procesos destructivos generadores de energía; como por ejemplo: la glucólisis.

TIPOS DE METABOLISMO

Los organismos no se diferencian en la manera de procurarse compuestos inorgánicos del medio, todos los obtienen de una manera directa. En cambio, si se van a diferenciar en cómo van a obtener las sustancias orgánicas. Ciertos

organismos las obtienen a partir de sustancias inorgánicas, como el CO₂, H₂O, NO₃, PO₄³⁻, etc. A estos organismos se les llama **autótrofos**. Otros son incapaces de elaborar los compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos y deben obtenerlos del medio, son los organismos **heterótrofos**.

Los organismos además de materiales necesitan también energía. Cuando la fuente de energía es la luz, el organismo recibe el nombre de **fotosintético**. Cuando la energía la obtienen a partir de sustancias químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, los llamaremos **quimiosintéticos**.

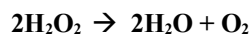


LAS ENZIMAS. CONCEPTO DE CATÁLISIS

Las enzimas son proteínas o asociaciones de proteínas y otras moléculas orgánicas o inorgánicas que actúan **catalizando** los procesos químicos que se dan en los seres vivos. Esto es, actúan facilitando las transformaciones químicas ya que aumentan considerablemente la **velocidad** de las reacciones que catalizan y disminuyen al mismo tiempo la **energía de activación** que estas reacciones requieren.

Así, por ejemplo:

I) La descomposición del agua oxigenada (peróxido de hidrógeno) en agua y oxígeno, según la reacción:



es una reacción que puede transcurrir espontáneamente pero es extraordinariamente lenta. En condiciones normales se descomponen espontáneamente 100 000 moléculas cada 300 años por cada mol de H₂O₂ (6,023*10²³ moléculas). Sin embargo, en presencia de una enzima que hay en nuestras células, la catalasa, el proceso se desarrolla con extraordinaria rapidez (el burbujeo que se produce al echar agua oxigenada en una herida es debido a esto).

II) La reacción de desfosforilación de la glucosa:



es exergónica, pero se necesitan 292,6 kJ/mol para romper el enlace fosfoéster. Esto significa que para poder obtener 305,14 kJ/mol de glucosa, deberemos suministrar primero 292,6 kJ/mol (rendimiento neto 12,54 kJ/mol de glucosa). Esta energía (292,6 kJ) recibe el nombre de **energía de activación** (E_A). En presencia de su enzima, este proceso necesita una energía de activación muchísimo menor.

Las enzimas, como catalizadores que son, **no modifican la constante de equilibrio** y **tampoco se transforman** recuperándose intactas al final del proceso. La rapidez de actuación de las enzimas y el hecho de que se recuperen intactas para poder actuar de nuevo es la razón de que se necesiten en pequeñas cantidades.

ESPECIFICIDAD DE LOS ENZIMAS

Es de destacar que los enzimas son **específicas**. Esto es, un enzima puede actuar sobre un sustrato o un grupo de sustratos relacionados (**especificidad de sustrato**) pero no sobre otros; por ejemplo: la sacarasa, que hidroliza la sacarosa. Otras enzimas, sin embargo, tienen **especificidad de acción** al realizar una acción determinada pero sobre múltiples sustratos; por ejemplo: las lipasas que hidrolizan los enlaces éster en los lípidos. Debido a esta especificidad de las enzimas existen en la célula miles de enzimas diferentes.

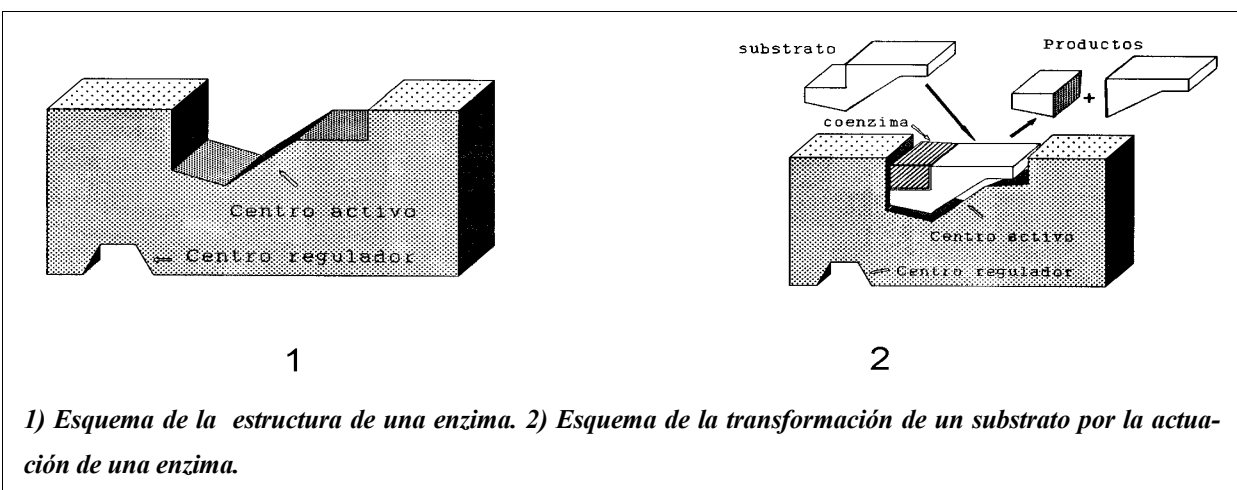
La especificidad de las enzimas ha llevado a comparar a éstas con llaves y a los sustratos con cerraduras (modelo de la llave y la cerradura).

CONSTITUCIÓN QUÍMICA DE LAS ENZIMA Y MODO DE ACTUACIÓN

En el pasado las enzimas se conocían con el nombre de **fermentos**, porque los primeros enzimas estudiados fueron los fermentos de las levaduras y de las bacterias. En la actualidad el término fermento se aplica únicamente a las enzimas que las bacterias, hongos y levaduras vierten al exterior para realizar determinadas transformaciones: **las fermentaciones**.

Las enzimas son, en general, prótidos. Algunas son proteínas en sentido estricto. Otras poseen una parte protéica y una parte no protéica, ambas están más o menos ligadas químicamente.

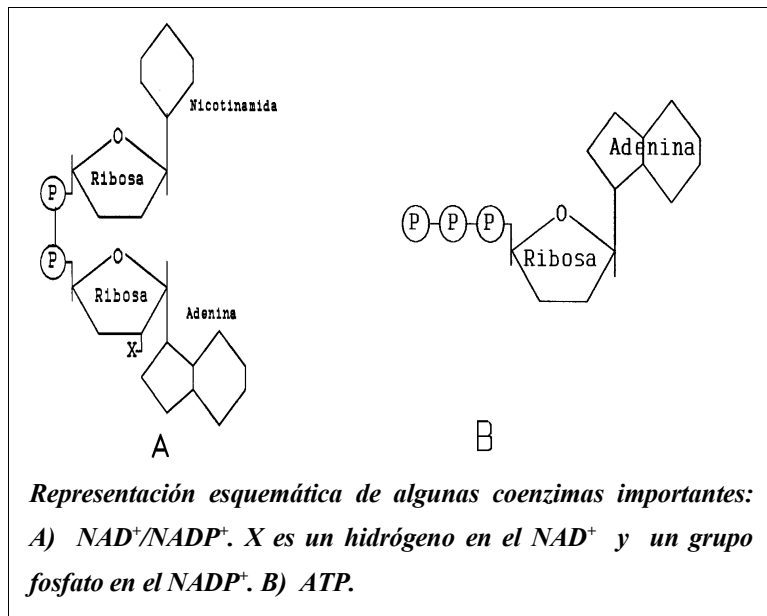
La conformación espacial de la parte protéica es la responsable de la función que realiza la enzima. Para ello la sustancia o sustancias que van a reaccionar y transformarse se unen a la enzima en una zona que llamaremos **centro activo** y son las interacciones químicas entre los restos de los aminoácidos presentes en el centro activo y el sustrato o los sustratos las responsables de la transformación; ya que estas interacciones producen reordenamientos de los electrones que debilitan ciertos enlaces y favorecen la formación de otros desencadenando la transformación química.



La parte protéica es también y por las mismas razones la que determina la **especificidad** de la enzima. Así, la sacarasa actúa sobre la sacarosa por ser esta la única molécula que se adapta al centro activo.

Muchas enzimas precisan para su actuación la presencia de otras sustancias no protéicas: los **cofactores**. Químicamente son sustancias muy variadas. En algunos casos se trata de simples iones, cationes en particular, como el Cu^{++} o el Zn^{++} . En otros, son sustancias orgánicas mucho más complejas, en cuyo caso se llaman **coenzimas**. Muchas vitaminas son coenzimas o forman parte de coenzimas. Las coenzimas son imprescindibles para que la enzima actúe. Suelen, además, ser las responsables de la actividad química de la enzima. Así, muchas reacciones de oxidación precisan del NAD^+ , que es el que capta los electrones y sin su presencia la enzima no puede actuar. Otro ejemplo lo tenemos en las reacciones que necesitan energía en las que actúa como coenzima el ATP.

Por último, indicar que las enzimas se nombran añadiendo la terminación **asa**, bien al nombre del sustrato sobre el que actúan (sacarasa), al tipo de actuación que realizan (hidrolasas), o ambos (ADN polimerasa).



ALGUNAS COENZIMAS IMPORTANTES

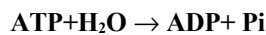
i) Coenzimas que intervienen en las reacciones en las que hay transferencias de energía.

Estas coenzimas actúan captando energía en aquellos procesos químicos en los que se produce y cediéndola en los que se necesita. En general, se trata de nucleótido o derivados de nucleótidos. Así, por ejemplo:

ATP (adenosina5'trifosfato): AdeninaRibosaPPP.

ADP (adenosina5'difosfato): AdeninaRibosaPP

La hidrólisis del enlace entre los dos últimos fosfatos en el ATP según la reacción:



genera 7 kcal/mol. El proceso inverso es capaz de almacenar las mismas 7 kcal/mol. De esta forma la energía es transportada de aquellos procesos donde se produce a aquellos en los que se necesita.

ii) Coenzimas que intervienen en las reacciones en las que hay transferencias de electrones

Estas moléculas, en su estado oxidado, captan electrones de aquellas sustancias que se oxidan, reduciéndose, y los ceden a aquellas que se reducen, oxidándose. De esta forma, los electrones son transportados de unas moléculas a otras.

NAD⁺ / NADH (Nicotinamín adenín dinucleótido en forma oxidada y reducida, respectivamente). Se trata de un dinucleótido formado por:

NicotinamidaRibosaPPRibosaAdenina.

NADP⁺ /NADPH (Nicotinamín adenín dinucleótido fosfato, en forma oxidada y reducida, respectivamente). Similar NAD⁺ pero con un grupo fosfato más esterificando el HO del carbono 2 de la ribosa unida a la adenina.

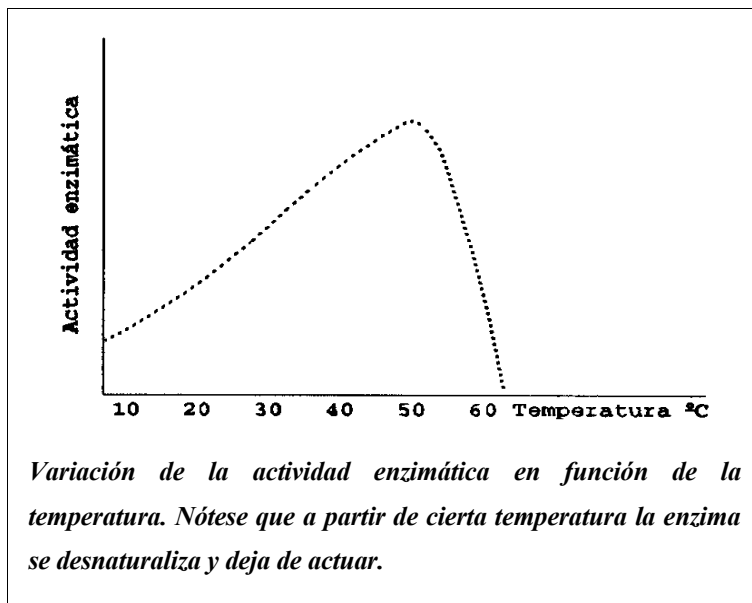
FAD/FADH₂ (Flavín adenín dinucleótido, en forma oxidada y reducida, respectivamente). Similar al NAD pero conteniendo riboflavina (otra de las vitaminas del complejo B₂) en lugar de nicotinamida.

iii) Coenzimas que intervienen como transportadores de grupos acilo.

Coenzima A. Coenzima de estructura compleja y de la que forma parte el ácido pantoténico (otra de las vitaminas del complejo B₂).

FACTORES QUE CONDICIONAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Las enzimas, como sustancias protéicas que son, van a ver condicionada su actuación por determinados factores físicos y químicos. Algunos de estos factores son:



La temperatura. Como toda reacción química, las reacciones catalizadas enzimáticamente siguen la regla de Van t'Hoff. Según la cual, por cada 10°C de aumento de temperatura, la velocidad de la reacción se duplica. No obstante, las enzimas tienen una temperatura óptima. En el hombre, y en los animales homeotermos como el hombre, esta temperatura óptima coincide con la temperatura normal del organismo. Los enzimas, como proteínas que son, se desnaturalizan a elevadas temperaturas.

El pH, que al influir sobre las cargas eléctricas de la enzima, podrá alterar la estructura del centro activo y, por lo tanto, también influirá sobre la actividad enzimática.

Los inhibidores. Determinadas sustancias van a poder actuar sobre las enzimas disminuyendo o impidiendo su actuación. Estas sustancias son los inhibidores. Se trata de moléculas que se unen a la enzima impidiendo que ésta actúe sobre el sustrato. Existen diferentes tipos de inhibición:

Inhibición competitiva: Cuando el inhibidor se une en el centro activo de la enzima impidiendo que el sustrato se una a él. Se trata de una inhibición que depende de la concentración de sustrato y de inhibidor.

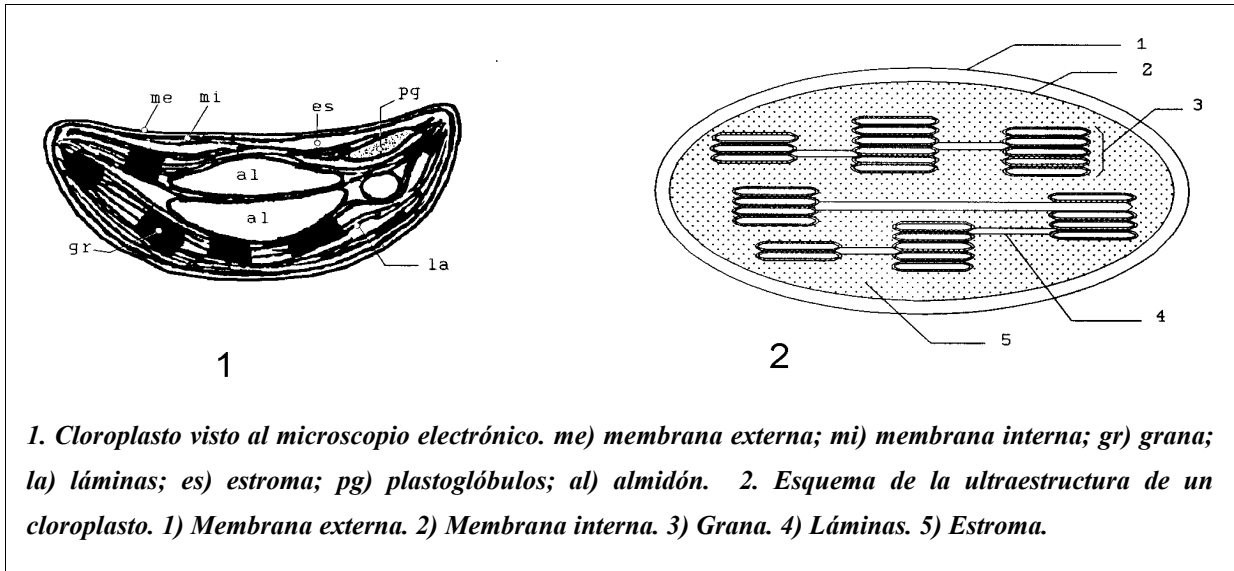
Inhibición no competitiva: Cuando el inhibidor se une reversiblemente a un punto diferente del centro activo de tal manera que lo modifica lo suficiente para que, aunque se puedan unir la enzima y el sustrato, la catálisis no se produzca o la velocidad del proceso disminuya. Este tipo de inhibición no depende de la concentración de sustrato.

Inhibición alostérica: Cuando el inhibidor se une en un punto también diferente al centro activo pero con su actuación lo modifica de tal manera que impide la unión de la enzima y el sustrato.

Los activadores. Son sustancias que se unen a la enzima, que se encuentra inactiva, cambiando su estructura espacial y activándola.

Los envenenadores. Son sustancias que se unen a la enzima de manera irreversible inutilizándola permanentemente.

METABOLISMO: OBTENCIÓN DE ENERGÍA



7.1) OBTENCIÓN DE ENERGÍA Y SÍNTESIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN LA CÉLULA VEGETAL.

LOS CLOROPLASTOS

Características: Son orgánulos muy variables en cuanto a número, forma y tamaño. Así, por ejemplo, las células de ciertas algas filamentosas tienen uno o dos únicos cloroplastos; otras, como la planta acuática elodea, tienen numerosos cloroplastos. Su forma es, normalmente, de lente biconvexa, pero pueden ser también estrellados o con forma de cinta enrollada en hélice.

Ultraestructura: Es difícil observar su estructura al microscopio óptico. Al MET (microscopio electrónico de transmisión) se observa una **membrana externa** y otra **interna**. En el interior se ven unas estructuras alargadas formadas por membranas llamadas **láminas o lamelas**. Sobre ellas se ven los **grana**, que son unos repliegues, formados también por membranas, que se disponen unos encima de otros. Todo este conjunto de membranas internas recibe el nombre de **tilacoides**; pudiéndose distinguir los **tilacoides de los grana** y los **tilacoides de las láminas**. Existe además un contenido interno: el **estroma**, en el que hay ADN similar al de las células procariotas, ribosomas (**plastorribosomas**) y acumulaciones de almidón, proteínas y lípidos.

Función: En los cloroplastos se va a realizar la **fotosíntesis**. En los tilacoides se realiza una de las fases de la fotosíntesis: la **fase luminosa**. La otra fase de la fotosíntesis: la **fase oscura**, se realiza en el estroma del cloroplasto.

Origen evolutivo: Es de destacar, que los plastos tienen una estructura similar a la de los organismos procariotas. Según la "**Teoría endosimbiótica**" los eucariotas serían organismos constituidos por simbiosis de varios organismos procariotas. Los plastos serían por lo tanto procarióticas que proporcionarían al organismo simbiote compuestos orgánicos que sintetizarían usando como fuente de energía la luz solar.

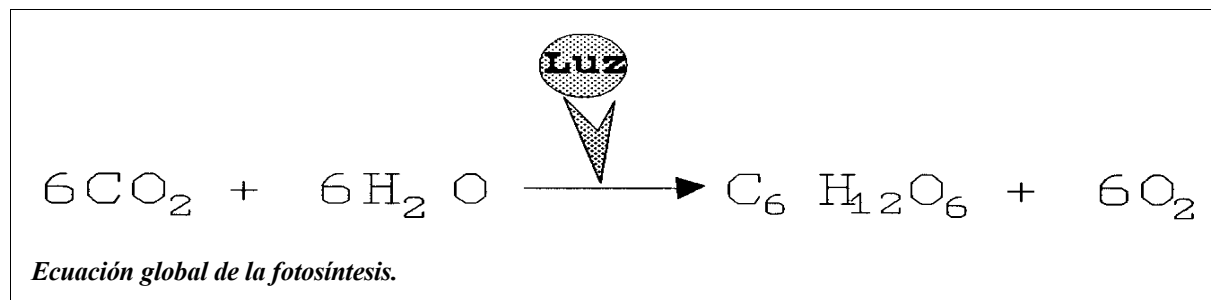
LA FOTOSÍNTESIS: CONCEPTO

La fotosíntesis puede definirse como un proceso anabólico que se produce en los cloroplastos y en el que la energía luminosa es transformada en energía química que posteriormente será empleada para la fabricación de sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas.

PROCESOS QUE SE DAN EN LA FOTOSÍNTESIS

En la fotosíntesis se van a producir los siguientes procesos:

- Fotofosforilación.
- Fotólisis del agua.
- Reducción del NADP.
- Síntesis de glucosa y de otros compuestos orgánicos.

ECUACIÓN GLOBAL DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis, su conjunto, es un proceso **redox** en el que el CO_2 y otras sustancias inorgánicas son reducidas e incorporadas en las cadenas carbonada. Aunque son muchas las sustancias orgánicas que se forman en el cloroplasto, la que se forma en mayor cantidad es la glucosa. Por esto la ecuación global de la síntesis de glucosa en el cloroplasto se considera como la ecuación global de la fotosíntesis.

CONSECUENCIAS DE LA FOTOSÍNTESIS

Las consecuencias de la fotosíntesis son de gran importancia para los seres vivos. Así:

- 1º) Todos o casi todos los seres vivos dependen, directa o indirectamente, de la fotosíntesis para la obtención de sustancias orgánicas y energía.
- 2º) A partir de la fotosíntesis se obtiene O_2 . Este oxígeno, formado por los seres vivos, transformó la primitiva atmósfera de la Tierra e hizo posible la existencia de los organismos heterótrofos aeróbicos⁵.

⁵ Aeróbicos son los organismos que necesitan en su metabolismo el oxígeno para los procesos de oxidación.

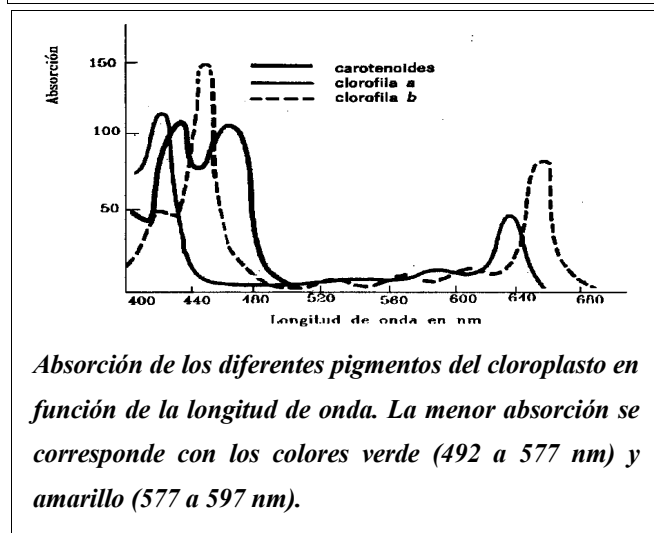
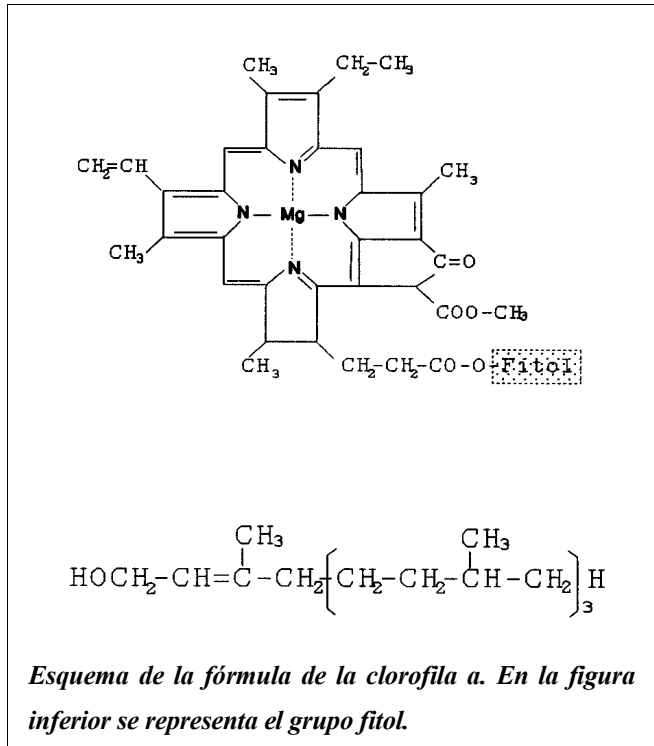
FASES DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un proceso muy complejo. Se ha demostrado que sólo una parte requiere energía luminosa, a esta parte se le llama **fase luminosa**; mientras que la síntesis de compuestos orgánicos no necesita la luz de una manera directa, es la **fase oscura**. Es de destacar que la fase oscura, a pesar de su nombre, se realiza también durante el día, pues precisa el ATP y el NADPH que se obtienen en la fase luminosa.

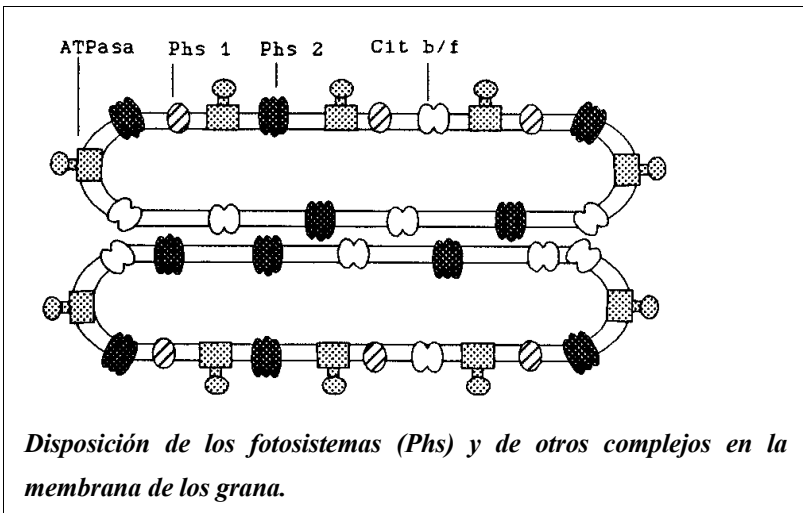
FASE LUMINOSA

Se realiza en la membrana de los tilacoides. Consiste en un transporte de electrones, desencadenado por fotones, con síntesis de ATP y de NADPH+H⁺. Consta de los siguientes procesos:

- 1º) Captación por las clorofilas y otros pigmentos fotosintéticos de la energía luminosa y su transformación en energía química contenida en el ATP.
- 2º) Obtención de electrones a partir del agua (fotólisis del agua)
- 3º) Estos electrones, convenientemente activados por la energía luminosa servirán para reducir NADP⁺ a NADPH.



ESTRUCTURA DE LA MEMBRANA DE LOS TILACOIDES



La membrana de los tilacoides tiene una estructura de doble capa o membrana unitaria. Integradas en la doble capa lipídica se encuentran determinadas sustancias de gran importancia en el proceso de la fotosíntesis y en particular los **fotosistemas I y II**.

Cada fotosistema contiene carotenos, clorofilas y proteínas. Estas moléculas captan la energía luminosa y la ceden a

las moléculas vecinas presentes en cada fotosistema hasta que llega a una molécula de clorofila a denominada **molécula diana**. Los diferentes carotenos y clorofilas captan fotones de unas determinadas longitudes de onda. De esta manera, el conjunto de las moléculas del fotosistema captan gran parte de la energía luminosa incidente, sólo determinadas longitudes de onda son reflejadas y, por lo tanto, no utilizadas. En particular, son reflejadas las radiaciones correspondientes a las longitudes de onda del verde y el amarillo.

En el **fotosistema II** (Phs II) la molécula diana es la **clorofila aII** que tiene su máximo de absorción a 680 nm (P 680). Cuando esta clorofila capta un fotón pasa a un estado *excitado* (**P 680**) y su potencial redox se hace más negativo haciéndose muy reductora. En el **fotosistema I** (Phs I), la molécula diana es la **clorofila aI**, cuyo máximo de absorción se encuentra a 700 nm (P 700), que también se *excita* (**P 700**) al captar un fotón.

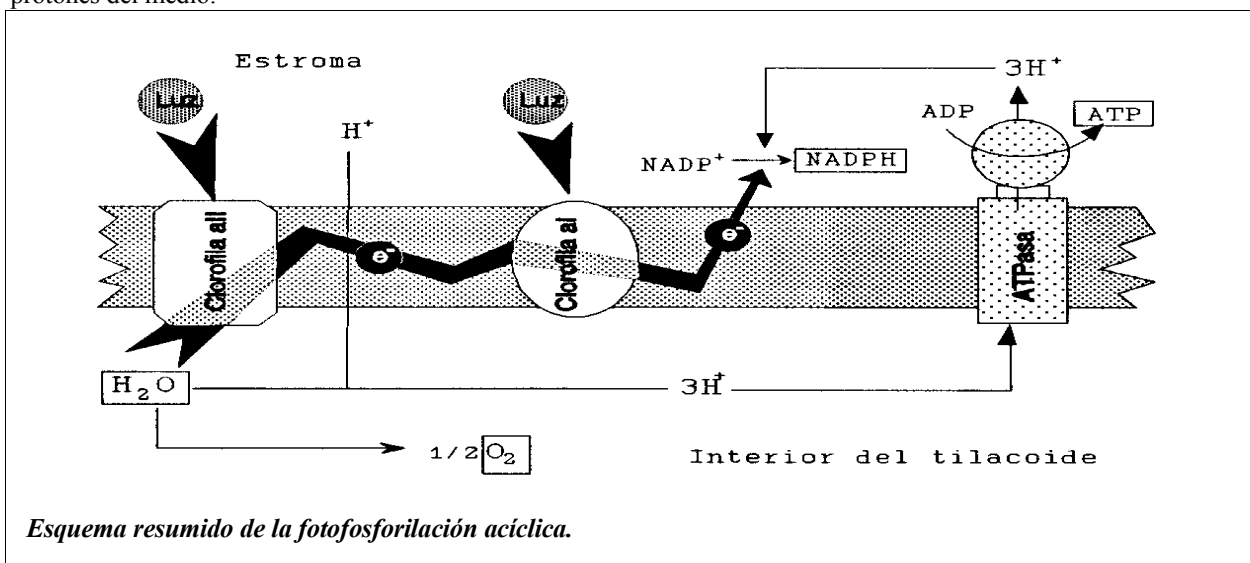
La disminución de los potenciales redox permite que se establezca un transporte de electrones. Estos pueden seguir dos vías:

- La fotofosforilación acíclica
- La fotofosforilación cíclica

A) LA FOTOFOSFORILACIÓN ACÍCLICA

La luz va a desencadenar un transporte de electrones a través de los tilacoides con producción de NADPH y ATP. Los electrones serán aportados por el agua. En esta vía se pueden distinguir los siguientes procesos:

I) **Reducción del NADP⁺**: Las clorofilaaII y otras sustancias de los fotosistema II captan fotones (luz) pasando a un estado más energético (excitado). Esta energía les va a permitir establecer una cadena de electrones a través de los tilacoides en la que intervienen diferentes transportadores y en particular el fotosistema I que también es activado por la luz. El aceptor final de estos electrones es el NADP⁺ que se reduce a NADPH+H⁺ al captar los dos electrones y dos protones del medio.

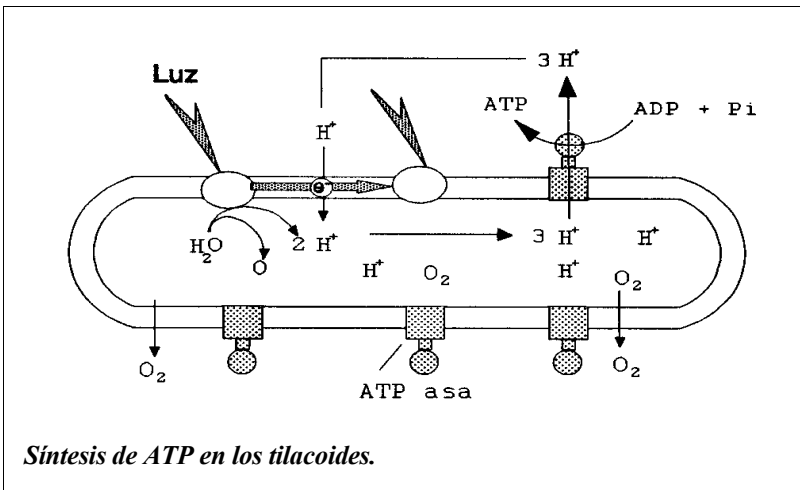


II) **Fotólisis del agua y producción de oxígeno**: Los electrones transportados a través de los tilacoides y captados por el NADP⁺ proceden de la clorofila aII (P680). Esta molécula va recuperarlos sacándolos del agua. De esta manera

podrá iniciar una nueva cadena de electrones. En este proceso la molécula de agua se descompone (lisis) en $2H^+$, $2e^-$ y un átomo de oxígeno. El átomo de oxígeno, unido a un segundo átomo para formar una molécula de O_2 , es eliminado al exterior. El oxígeno producido durante el día por las plantas se origina en este proceso.



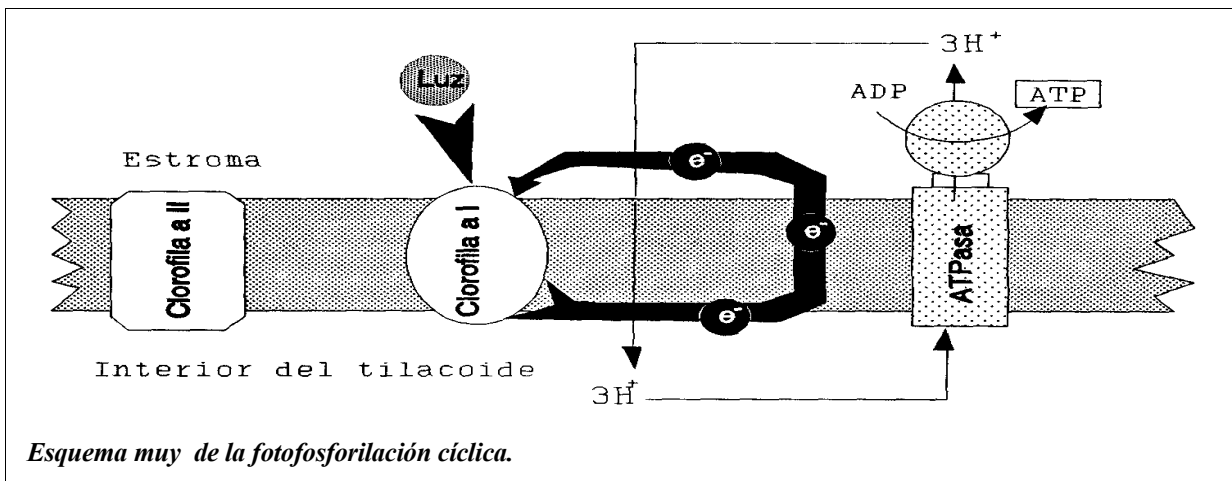
III) **Obtención de energía. Síntesis de ATP (Teoría quimiosmótica):** El transporte de electrones a través de los fotosistemas produce un bombeo de protones desde el estroma hacia el interior del tilacoide, pues los fotosistemas actúan como transportadores activos de protones extrayendo la energía necesaria para ello del propio transporte de electrones. La lisis del agua también genera protones (H^+). Todos estos protones se acumulan en el espacio intratilacoide, pues la membrana es impermeable a estos iones y no pueden salir. El exceso de protones genera un aumento de la acidez en el interior del tilacoide y, por lo tanto, un gradiente electroquímico, exceso protones y de cargas positivas. Los protones sólo pueden salir a través de unas moléculas de los tilacoides: las ATPasas. Las ATPasas actúan como canal de protones y de esta manera cataliza la síntesis de ATP. Es la salida de protones (H^+) a través de las ATPasas la que actúa como energía impulsora para la síntesis de ATP.



IV) **Balance de la fotofosforilación acíclica:** Teniendo en cuenta únicamente los productos iniciales y finales, y podemos hacerlo porque el resto de las sustancias se recuperan en su estado inicial, en la fotofosforilación acíclica se obtienen $1 NADPH+H^+$ y $1 ATP$. A su vez, la fotólisis del agua va a generar también un átomo de oxígeno.

B) LA FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA

En esta vía la luz va a desencadenar un transporte de electrones a través de los tilacoides con producción sólo de ATP.



Mecanismo: El proceso parte de la excitación de la molécula diana del fotosistema I (clorofilaaI, P680) por la luz. Ahora bien, en este caso, los electrones no irán al NADP^+ sino que seguirán un proceso cíclico pasando por una serie de transportadores para volver a la clorofila aI. En cada vuelta se sintetiza una molécula de **ATP** de la misma forma que en la fotofosforilación acíclica.

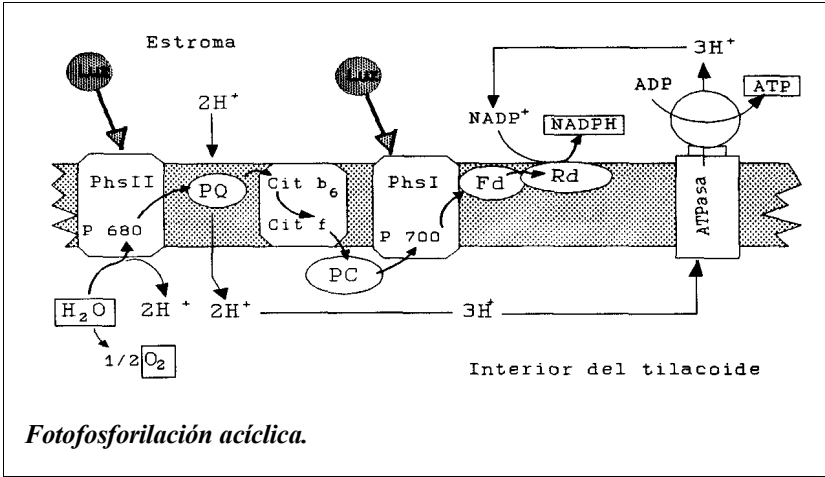
Balance de la fotofosforilación cíclica: En esta vía se produce una síntesis continua de ATP y no se requieren otros sustratos que el ADP y el P_i y, naturalmente, luz (fotones). Es de destacar que no es necesaria la fotólisis del agua pues los electrones no son cedidos al NADP^+ y que, por lo tanto, no se produce oxígeno.

C) REGULACIÓN DE AMBOS PROCESOS

En el cloroplasto se emplean ambos procesos indistintamente en todo momento. El que se emplee uno más que otro va a depender de las necesidades de la célula o lo que en realidad es lo mismo, de la presencia o ausencia de los sustratos y de los productos que se generan. Así, si consume mucho $\text{NADPH}+\text{H}^+$ en la síntesis de sustancias orgánicas, habrá mucho NADP^+ , y será éste el que capte los electrones produciéndose la fotofosforilación acíclica. Si en el tilacoide hay mucho ADP y P_i y no hay NADP^+ , entonces se dará la fotofosforilación cíclica. Será el consumo por la planta de ATP y de $\text{NADPH}+\text{H}^+$, o, lo que es lo mismo, la existencia de los sustratos ADP y NADP^+ , la que determinará uno u otro proceso.

LA FOTOFOSFORILACIÓN: EXPLICACIÓN DETALLADA

NOTA: Se expone aquí una explicación más en detalle de ciertos aspectos de la fotofosforilación con el objetivo de que pueda contribuir a una mejor comprensión en aquellos alumnos que estén más interesados.

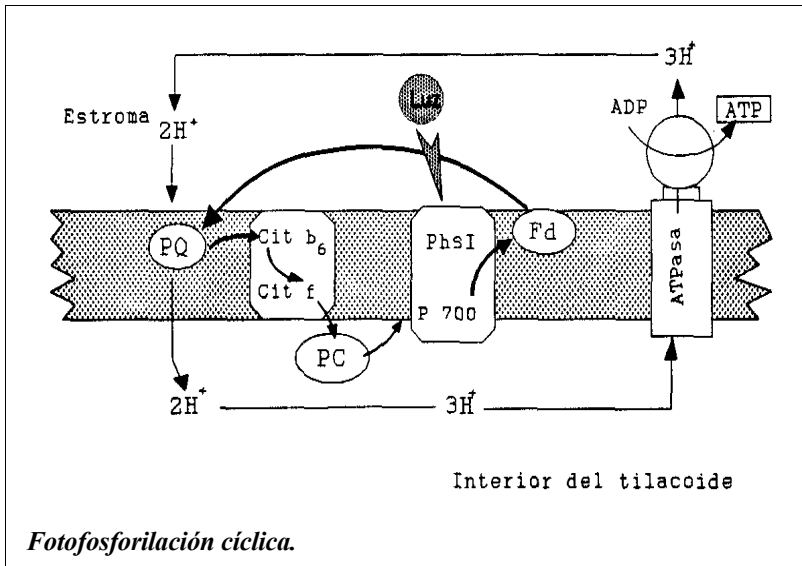


Fotofosforilación acíclica.

A) FOTOFOSFORILACIÓN ACÍCLICA.

Al captar un fotón, la clorofila a II (P680) se excita y aumenta su poder reductor. Esto le va a permitir reducir, por cesión de $2e$, a la plastoquinoma (PQ). Estos dos electrones son cedidos sucesivamente a otros transportadores: Citocromo b_6 (Cit b_6), citocromo f (Cit f) y plastocianina (PC), hasta llegar a la

clorofila aI (P 700) del fotosistema I. Se establece en consecuencia una cadena de electrones. La clorofila aI (P 700) recibe la energía de otro fotón y se origina una nueva cadena redox: P 700, Ferredoxina (Fd), Reductasa (Rd); en la que el aceptor final es el $NADP^+$ que se reduce a $NADPH + H^+$ al captar los dos electrones y dos protones del medio.



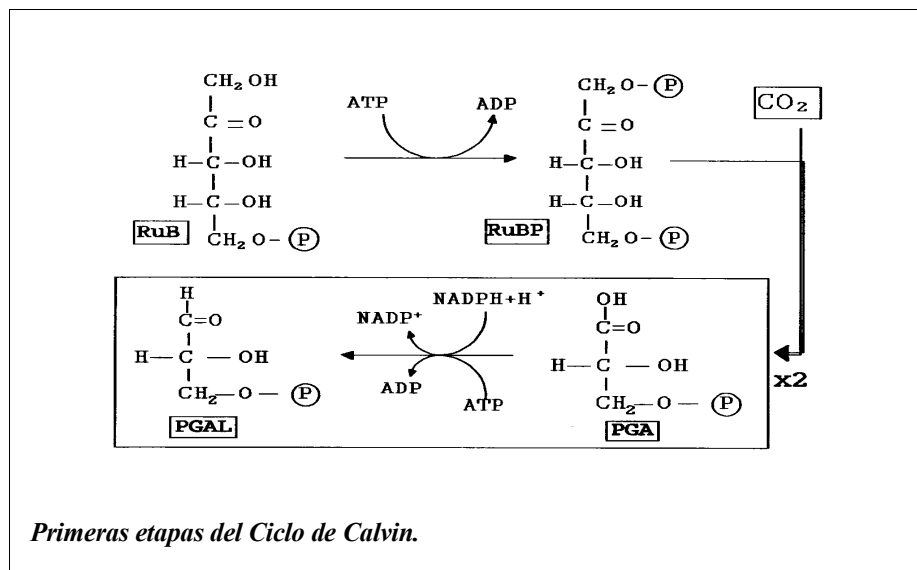
Fotofosforilación cíclica.

B) LA FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA:

El proceso parte de la excitación de la molécula diana (clorofila P 700) del fotosistema I. La diferencia con el proceso estudiado anteriormente está en que, en este caso, la ferredoxina (Fd), en lugar de ceder los $2e$ a la reductasa (Rd), los cede a la plastoquinona (PQ). Se establece un proceso cíclico en el que los mismos $2e^-$ están pasando continuamente por los mismos transportadores: Plastoquinona (PQ), citocromo b_6 (Cit b_6), citocromo f (Cit f), plastocianina (PC), clorofila aI, etc. En cada vuelta se sintetiza una molécula de ATP de la misma forma que en la fotofosforilación acíclica .

citocromo b_6 (Cit b_6), citocromo f (Cit f), plastocianina (PC), clorofila aI, etc. En cada vuelta se sintetiza una molécula de ATP de la misma forma que en la fotofosforilación acíclica .

FASE OSCURA o CICLO DE CALVIN⁶



En el estroma de los cloroplastos, y como consecuencia de la fase luminosa, se van a obtener grandes cantidades de ATP y NADPH+H⁺, metabolitos⁷ que se van a utilizar en la síntesis de compuestos orgánicos. Esta fase recibe el nombre de **fase oscura**⁸ porque en ella no se necesita directamente la luz, sino únicamente las sustancias

que se producen en la fase luminosa. Durante la fase oscura se dan, fundamentalmente, dos procesos distintos:

- Incorporación del CO₂ a las cadenas carbonadas y su reducción: Ciclo de Calvin⁹ propiamente dicho.
- Reducción de los nitratos y de otras sustancias inorgánicas, base de la síntesis de los aminoácidos y de otros compuestos orgánicos.

MECANISMO.

- 1) La ribulosa5P (**RuP**), monosacárido con cinco átomos de carbono (C₅) fosforilada en posición cinco, es fosforilada de nuevo por el ATP en el carbono 1, pasando a Ribulosa15difosfato (**RuBP**).
- 2) La **RuBP** reacciona con el CO₂ obteniéndose dos moléculas de ácido3fosfoglicérico (**PGA**). Este compuesto contiene una cadena carbonada de tres átomos de carbono (C₃). El proceso podría esquematizarse:



- 3) El **PGA** (C₃) es reducido por el NADPH+H⁺ a gliceraldehído3fosfato (**PGAL**), la reacción necesita también ATP.

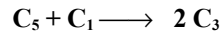
⁶ En honor a su descubridor, el bioquímico norteamericano Melvin Calvin, premio Nobel de química en el año 1961 por descubrir los mecanismos de la fotosíntesis.

⁷ Productos que se originan en el metabolismo.

⁸ Es de destacar, que a pesar de su nombre, la fase oscura se produce también por el día; pues, aunque no precisa luz, sí precisa ATP y NADPH y estos sólo se originan durante el día en la fase luminosa.

⁹ Ciertas plantas tropicales, como la caña de azúcar, pueden emplear, además del ciclo de Calvin, otras vías que son, incluso, de mayor rendimiento cuando la temperatura es elevada y la que la planta debe tener cerrados los estomas; es la llamada vía del C₄ o Ciclo de **Hatch y Slach**. En esta vía, el CO₂ es incorporado formando un ácido dicarboxílico de cuatro átomos de carbono.

Como consecuencia de los procesos 1, 2 y 3, estudiados hasta ahora, vemos que, partiendo de una molécula con cinco átomos de carbono (C_5) y por adición de una molécula de CO_2 , se obtienen dos moléculas con tres átomos de carbono cada una (C_3).

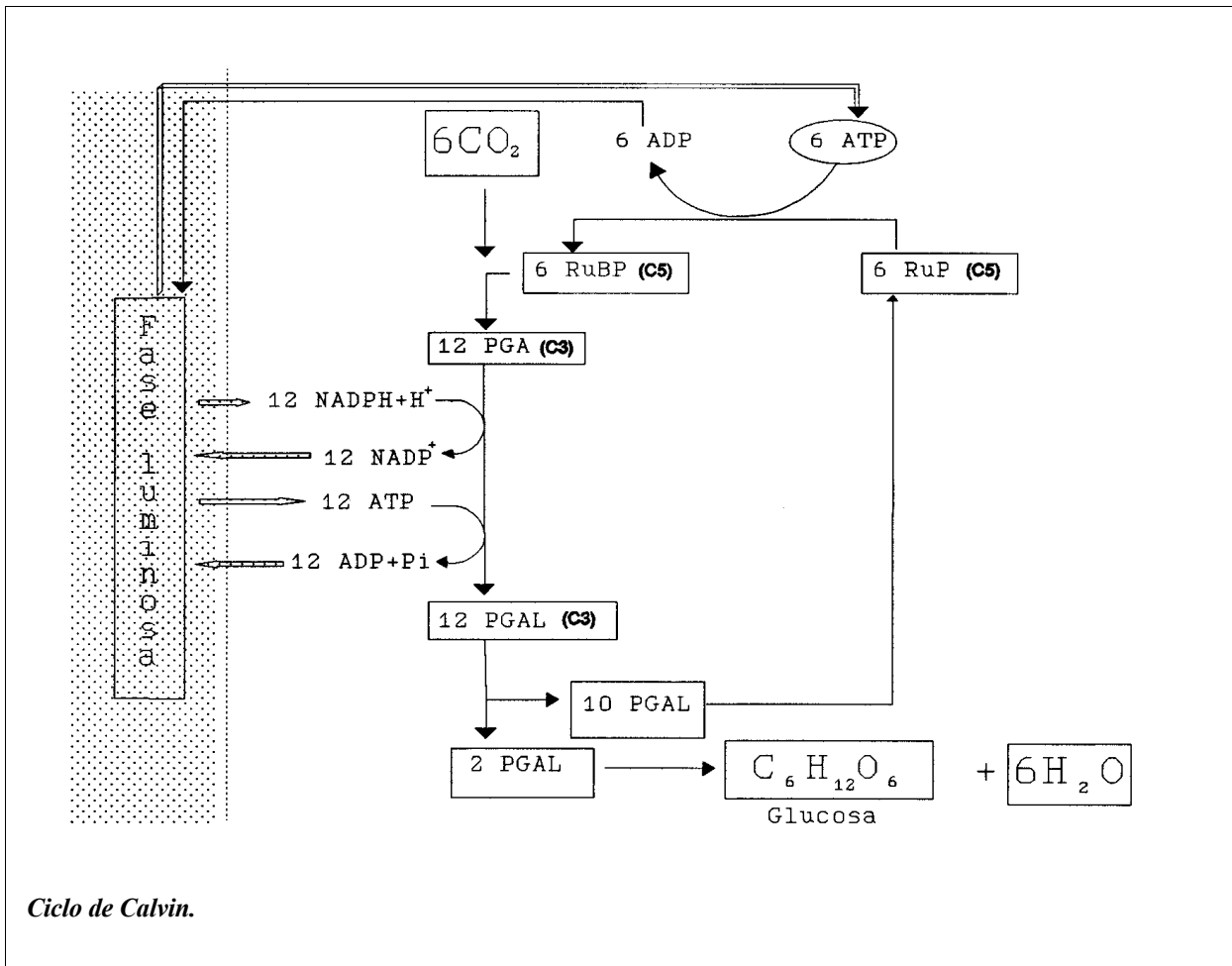


Esto es, el CO_2 ha sido integrado en una molécula orgánica, una triosa, el llamado gliceraldehído3fosfato (**PGAL**). Si en lugar de una molécula de **RuP**, partimos de seis moléculas, obtendremos 12 moléculas de **PGAL**.

4) De cada 12 moléculas de **PGAL** obtenidas, 2 se unen dando una molécula de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y el resto entra en un complejo proceso que tiene como objetivo la recuperación de las 6 moléculas de **RuP** (C_5). Éstas, una vez recuperadas, entran de nuevo en el Ciclo de Calvin.

5) La glucosa así obtenida es polimerizada formándose almidón.

ESQUEMA GENERAL DEL CICLO DE CALVIN



REDUCCIÓN DE NITRATOS Y SULFATOS

Las plantas pueden obtener el nitrógeno que necesitan a partir de los nitratos (NO₃), por ejemplo. Los nitratos son absorbidos por las raíces y transportados por los vasos leñosos hacia el parénquima clorofílico de la hoja.

En los nitratos el nitrógeno se encuentra en una forma muy oxidada, mientras que en los compuestos orgánicos se encuentra en forma reducida. La reducción es realizada por el NADPH y la energía necesaria para el proceso es aportada por el ATP. Ambos productos, como ya sabemos, se obtienen en grandes cantidades en la fase luminosa de la fotosíntesis. Esta es la razón por la que la reducción del nitrógeno y su incorporación en las sustancias orgánicas se realiza en los cloroplastos, y no porque el proceso necesite de una manera directa la luz.

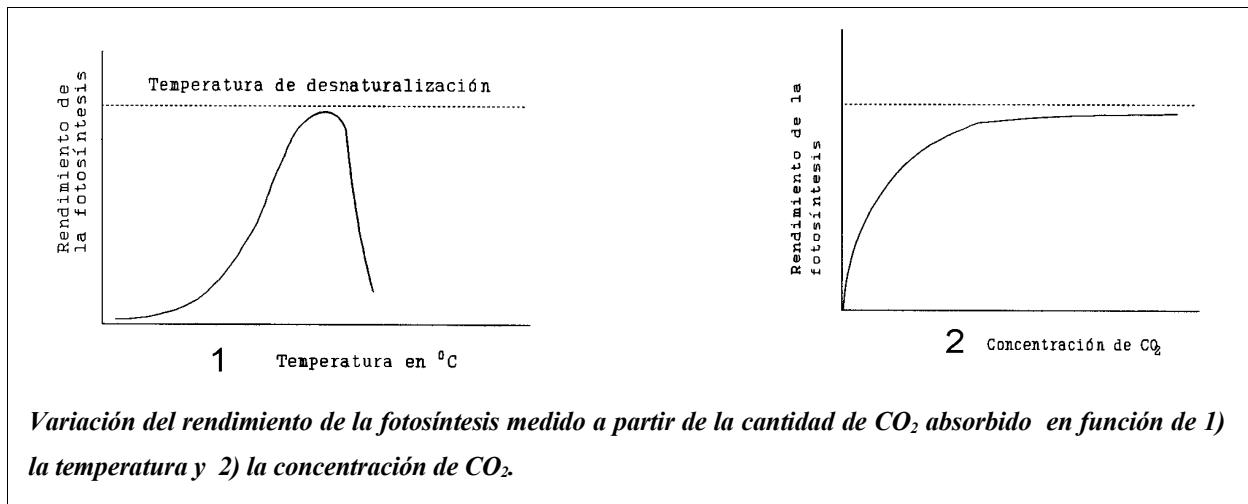
Por último, indicar que el azufre es absorbido por las raíces en forma de sulfatos (SO₄²⁻) u otras sales y, una vez reducido, es incorporado en el aminoácido cisteína y de aquí en otras sustancias orgánicas.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS

El rendimiento de la fotosíntesis puede ser medido fácilmente por la cantidad de CO₂ absorbido por la planta. En él influyen:

La Intensidad y longitud de onda de la luz. Ya sabemos que los carotenos y las clorofilas de los fotosistemas absorben fotones de una determinada longitud de onda. Por lo tanto, si se ilumina una planta con luz de longitud de onda inadecuada o con una intensidad insuficiente, la fotosíntesis no podrá realizarse y la planta no se desarrollará.

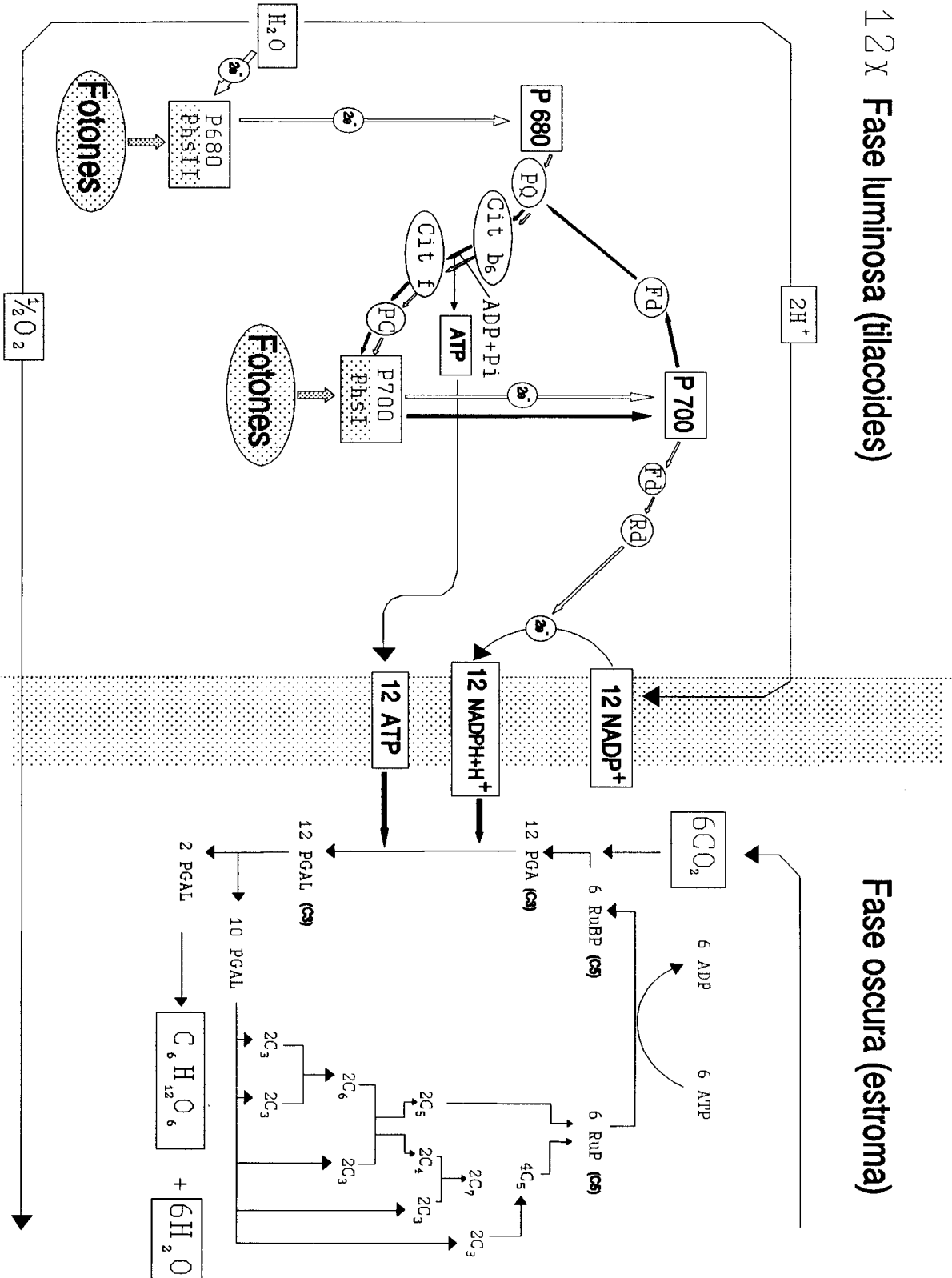
Temperatura. La fotosíntesis, como todo proceso químico, está influenciada por la temperatura, ya que por cada 10° C de aumento de temperatura, la velocidad se duplica. Ahora bien, un aumento excesivo de la temperatura desnaturizará las enzimas que catalizan el proceso y se producirá un descenso del rendimiento fotosintético.



Concentración de CO₂. Si el resto de los factores se mantiene constante, un aumento en la cantidad de CO₂ existente aumentará el rendimiento de la fotosíntesis hasta llegar a un valor máximo por encima del cual se estabilizará.

Concentración de O₂. Un aumento en la concentración de O₂ inhibe la fotosíntesis, ya que el oxígeno inhibe la enzima que incorpora el CO₂ a la Ribulosa 1,5-difosfato (**RuBP**).

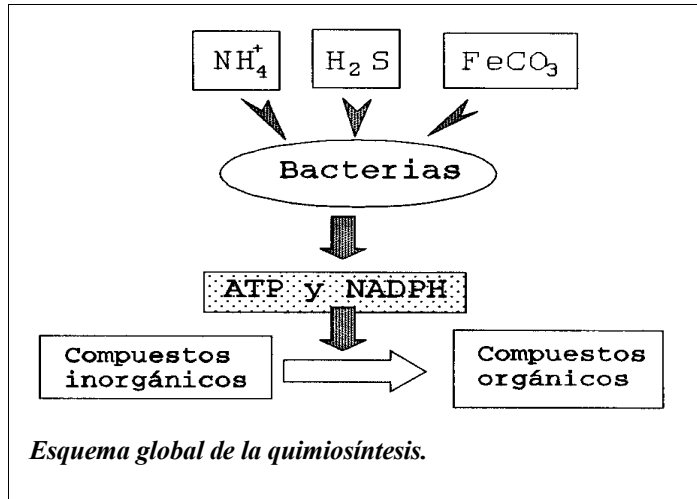
12X Fase luminosa (tilacooides)



QUIMIOSÍNTESIS

LA QUIMIOSÍNTESIS COMO OTRA FORMA DE NUTRICIÓN AUTÓTROFA

La quimiosíntesis es también una forma de nutrición autótrofa en la que, a diferencia de la fotosíntesis, la energía y los electrones (ATP y NADPH) necesarios para los procesos de anabolismo van a proceder de la oxidación de sustancias inorgánicas.



Se trata de una forma de nutrición típicamente bacteriana. En la que las diferentes especies se han especializado en la oxidación de distintos substratos. Según el substrato oxidado tendremos:

a) Bacterias nitrosificantes. Como las del género *nitrosomonas* que obtienen energía en forma de ATP y coenzimas reducidas por medio de la oxidación de sales amoniacales (NH_4^+) presentes en los excrementos y en la materia orgánica en

descomposición.

b) Bacterias nitrificantes. Como las del género *nitrobacter* que oxidan los nitritos (NO_2) a nitratos (NO_3^-).

Entre las bacterias nitrosificantes y las nitrificantes, el nitrógeno incorporado en los compuestos orgánicos es transformado de nuevo en nitrógeno contenido en compuestos inorgánicos que van a parar a los suelos o las aguas. De aquí podrá ser absorbido nuevamente por las plantas, cerrándose así el ciclo del nitrógeno en la naturaleza.

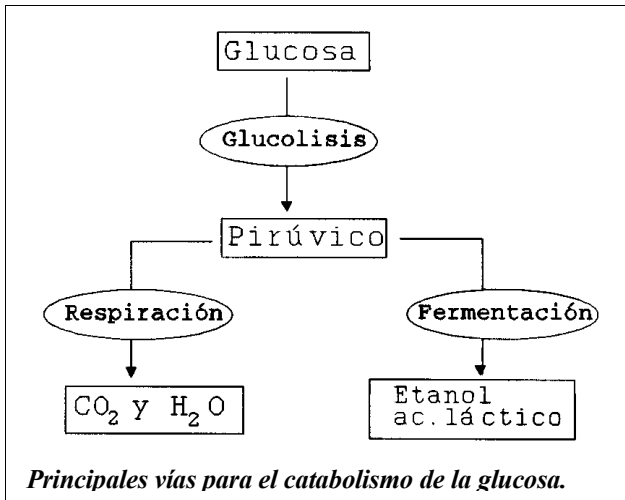
c) Bacterias del azufre incoloras. Estas bacterias oxidan los sulfuros a azufre y el azufre a sulfitos o a sulfatos.

d) Bacterias del hierro. Oxidan los compuestos ferrosos a férricos.

Estos dos últimos tipos de bacterias medran, sobre todo, en los yacimientos de azufre y hierro de origen volcánico y en particular en los llamados *humeros negros*.

Es de destacar, que las bacterias quimiosintéticas son los únicos seres vivos no dependientes, ni directa ni indirectamente, de la luz solar.

OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN LAS CÉLULAS VEGETALES Y ANIMALES



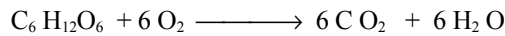
VÍAS DEL CATABOLISMO

Los organismos autótrofos fijan la energía solar en forma de energía química contenida en los compuestos orgánicos, glucosa, en particular. Esta energía, convenientemente liberada, será utilizada posteriormente por las partes de la planta que no tienen cloroplastos, como suele ser el caso de las raíces y tallos no verdes, o por toda la planta cuando falta la energía solar. Es también esta energía la que permite la vida de los organismos heterótrofos. La **respiración celular** y las **fermentaciones** son las vías catabólicas más corrientes para la obtención de la energía contenida en las sustancias orgánicas. Ambas vías, no obstante, tienen una primera fase común: la **glucolisis**

Las **fermentaciones** son las vías catabólicas más corrientes para la obtención de la energía contenida en las sustancias orgánicas. Ambas vías, no obstante, tienen una primera fase común: la **glucolisis**

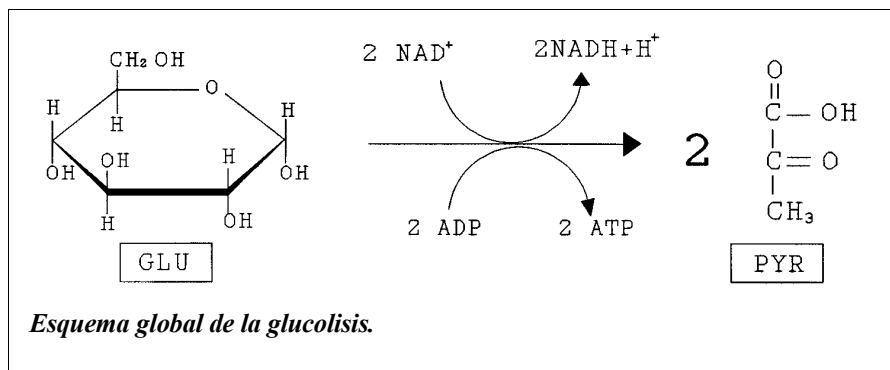
LA RESPIRACIÓN CELULAR

La respiración celular considerada en su conjunto puede resumirse en la siguiente ecuación global:



LA GLUCOLISIS¹⁰

La definiremos como el conjunto de reacciones que degradan la **glucosa (C₆)** transformándola en dos moléculas de **ácido pirúvico (PYR) (C₃)**. Este conjunto de reacciones se realiza en el hialoplasma de la célula. Es un proceso anaerobio, que no necesita oxígeno, y en el que por cada molécula de **glucosa (GLU)** se obtienen **2ATP** y **2NADH+H⁺**.



¹⁰ Lo que viene a continuación, se expone a los efectos de que los alumnos puedan interpretar los esquemas y extraer las consecuencias que se derivan de ellos. No parece conveniente que el alumno deba saberlo de memoria.

Consta de las siguientes reacciones:

1ª Fosforilación de la **glucosa (GLU)** por el **ATP**, formándose **glucosa6fosfato (G6P)**.

2ª La **glucosa6fosfato (G6P)** se isomeriza¹¹ a **fructosa6fosfato (F6P)**.

3ª Nueva fosforilación por el **ATP** de la **fructosa6fosfato (F6P)** que pasa a **fructosa 1,6difosfato (F1,6P)**.

4ª Rotura de la molécula de **F1,6P** en dos moléculas: el **aldehído3fosfoglicérico (PGAL)** y la **dihidroxiacetona fosfato (DHA)**. Ambas sustancias son isómeras y se transforman espontáneamente una en otra (el equilibrio se alcanza cuando hay un 95% de **DHA** y un 5% **PGAL**).

*Es de destacar que, hasta ahora, no sólo no se ha producido energía, sino que, incluso, se han consumido dos moléculas de **ATP**.*

5ª El **aldehído3fosfoglicérico (PGAL)** se oxida por el **NAD⁺**; al mismo tiempo se produce una fosforilación en la que interviene el **fosfato inorgánico¹² (HP)**, formándose **ácido 1,3difosfoglicérico (1,3DPGA)**. Cada molécula de **glucosa (GLU)** dará dos moléculas de **1,3DPGA** y dos de **NADH+H⁺**.

6ª Fosforilación del **ADP** por el **1,3DPGA**, formándose **ATP** y **ácido 3fosfoglicérico (3PGA)**. Es el primer **ATP** formado; dos, si tenemos en cuenta la rotura de la cadena carbonada de la glucosa en dos cadenas de tres átomos de carbono. Hasta este momento el balance energético es nulo: dos **ATP** consumidos, dos obtenidos.

7ª El **ácido 3fosfoglicérico (3PGA)** se transforma en **ácido pirúvico (PYR)**, sintetizándose una nueva molécula de **ATP** (dos por cada molécula de glucosa).

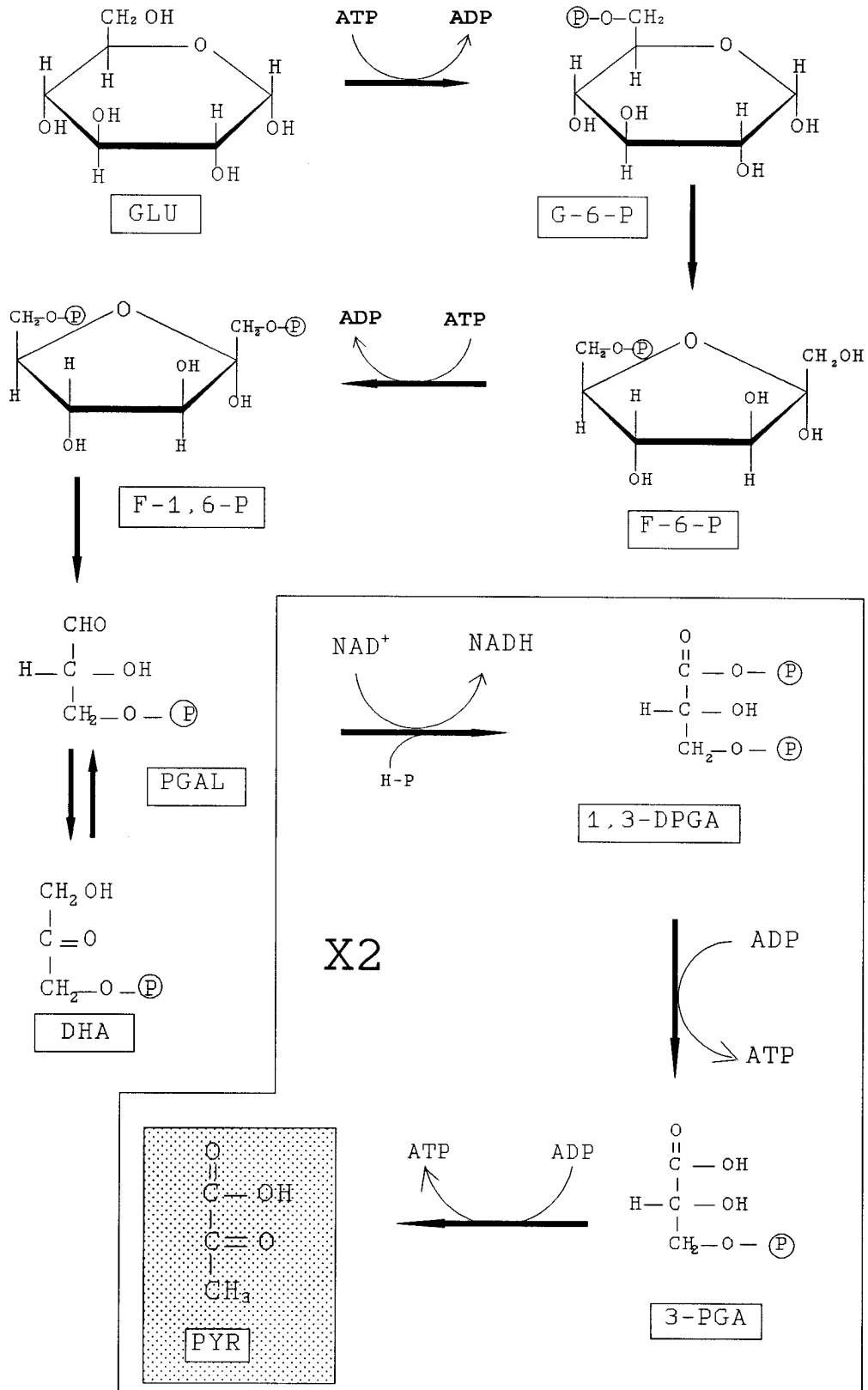
CARACTERÍSTICAS Y SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA GLUCOLISIS

- Se trata de una degradación **parcial** de la glucosa.
- Es un proceso anaerobio que permite la obtención de energía a partir de los compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno.
- La cantidad de energía obtenida por mol de glucosa es escasa (2 ATP).
- La glucolisis fue, probablemente, uno de los primeros mecanismos para la obtención de energía a partir de sustancias orgánicas en la primitiva atmósfera sin oxígeno de la Tierra.

¹¹ Isomerización: transformación de un compuesto químicoorgánico en otro que sea su isómero.

¹² Es de los pocos casos en los que la fosforilación se produce por el **fosfato inorgánico** y no por el **ATP**.

LA GLUCOLISIS



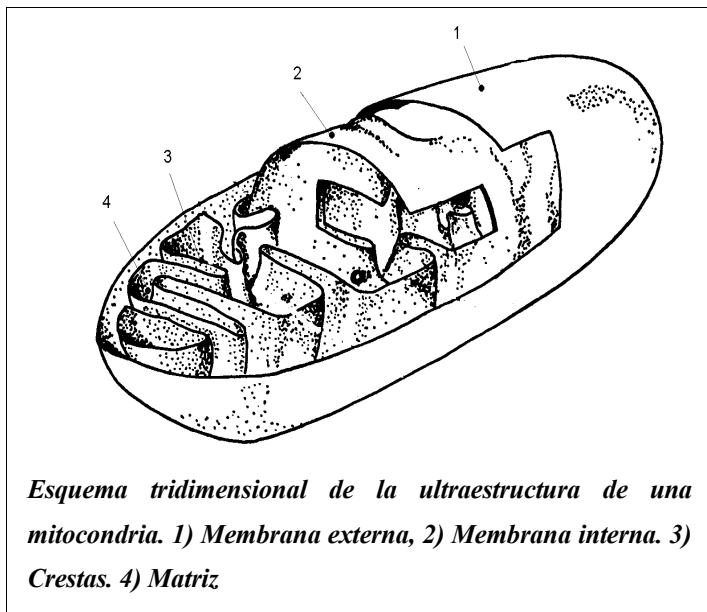
VÍAS DEL CATABOLISMO DEL PIRÚVICO

Para evitar que la glucólisis se detenga por un exceso de ácido pirúvico (**PYR**) y $\text{NADH}+\text{H}^+$ o por falta de NAD^+ , se necesitan otras vías que eliminen los productos obtenidos y recuperen los substratos imprescindibles. Esto va a poder realizarse de dos maneras:

1ª) **Respiración aerobia** (catabolismo aerobio). Cuando hay oxígeno, el pirúvico es degradado completamente obteniéndose dióxido de carbono (CO_2). El $\text{NADH}+\text{H}^+$ y otras coenzimas reductoras obtenidas son oxidadas y los electrones transportados hacia el **oxígeno** (O_2), recuperándose el NAD^+ y obteniéndose H_2O . Este proceso se realiza en los eucariotas en las mitocondrias.

2ª) **Fermentación** (Catabolismo anaeróbico). Cuando no hay **oxígeno** el **ácido pirúvico** se transforma de diferentes maneras sin degradarse por completo a CO_2 y H_2O . Este proceso tiene como objetivo la recuperación del NAD^+ . En los eucariotas se realiza en el hialoplasma.

EL CATABOLISMO AERÓBICO (RESPIRACIÓN AEROBIA)



MITOCONDRIAS

Aspecto: Son orgánulos muy pequeños, difíciles de observar al microscopio óptico, al que aparecen como palitos o bastoncitos alargados. Son orgánulos permanentes de la célula y se forman a partir de otras mitocondrias preexistentes.

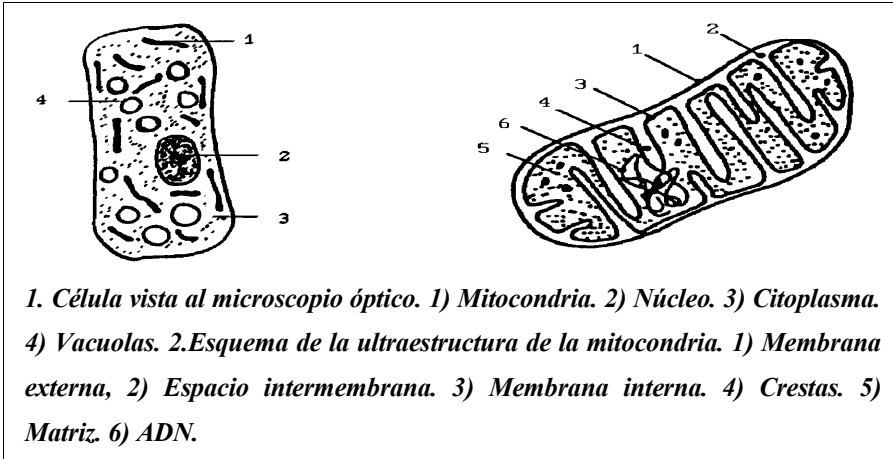
Forma y número: El número de mitocondrias en una célula puede llegar a ser muy elevado (hasta 2000). Normalmente suelen tener forma elíptica, aunque también pueden ser filamentosas u

ovoides. Sus dimensiones son muy pequeñas (1 a 7 μm de longitud por 0.5 μm de diámetro). Su forma y tamaño dependen mucho de las condiciones fisiológicas de la célula.

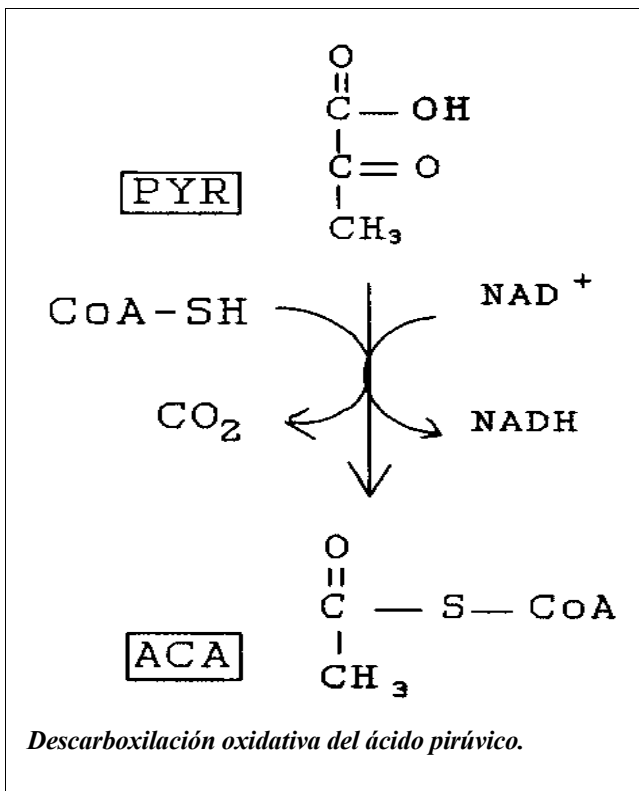
Ultraestructura. Es muy similar en todas las mitocondrias, independientemente de su forma o tamaño. Generalmente se observa la presencia de una **membrana externa** y una **membrana interna**, ambas similares a las demás membranas de la célula. La membrana interna se prolonga hacia el interior en una especie de láminas llamadas **crestas mitocondriales**. Entre ambas membranas hay un espacio llamado **espacio intermembrana** (de unos 100 Å). Dentro de la mitocondria, entre las crestas, está la **matriz mitocondrial**. Las proteínas de la membrana interna y las de las crestas son muy importantes, ya que algunas son las responsables de los procesos respiratorios. El interior de la matriz mitocondrial es una solución de proteínas, lípidos, ARN, ADN y ribosomas (mitorribosomas). Es de destacar que el

ADN mitocondrial es similar al ADN de los procariotas. Esto es, está formado por una doble cadena de ADN circular asociada a proteínas diferentes de las que se encuentran en los eucariotas.

Origen evolutivo: Las mitocondrias, igual que los plastos, tienen una estructura similar a los organismos procarióticos. Según la "**Teoría endosimbiótica**" las células eucarióticas serían el resultado de una simbiosis de varios procariotas. Uno de estos procariotas habrían sido las mitocondrias que proporcionarían al organismo simbiote energía a partir de la degradación aerobia de sustancias orgánicas.



DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DEL ÁCIDO PIRÚVICO

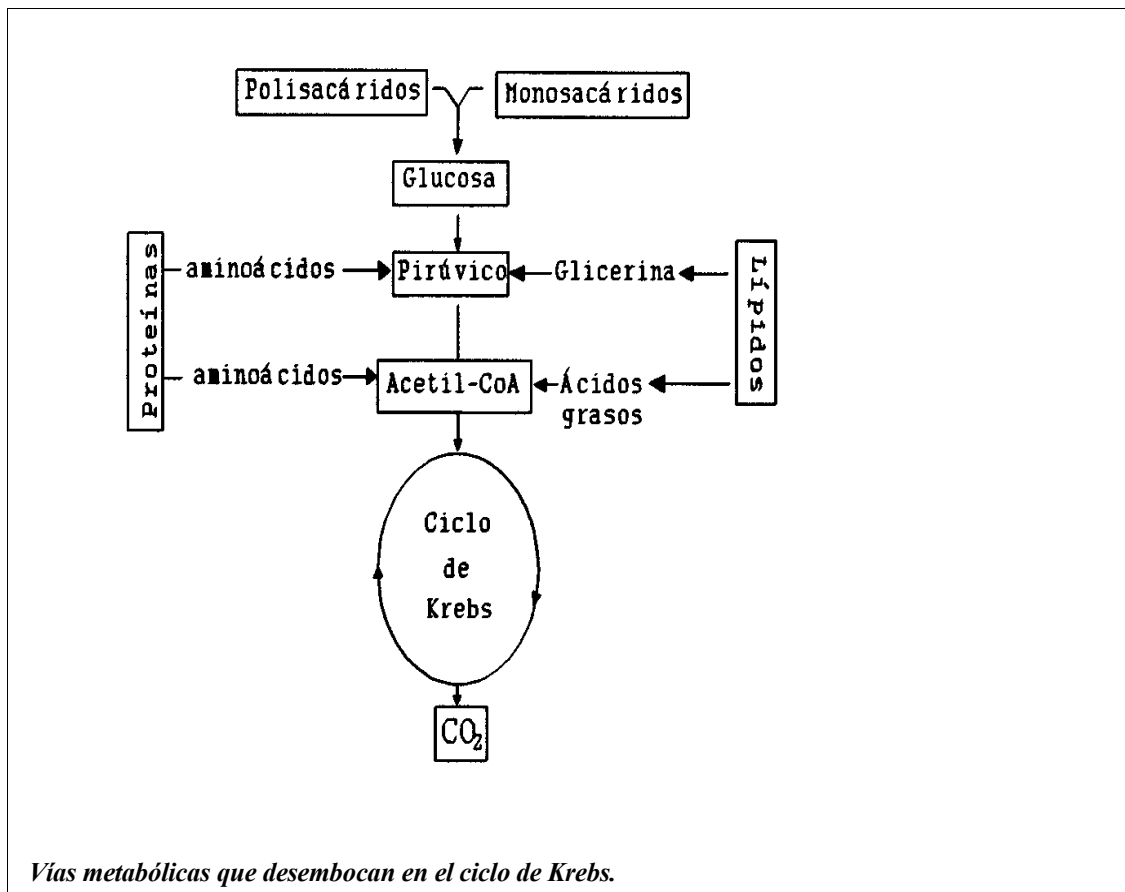


En condiciones aeróbicas el **ácido pirúvico (PYR)** obtenido en la glucólisis y en otros procesos catabólicos atraviesa la membrana de la mitocondria y en la matriz mitocondrial va a sufrir un proceso químico que tiene dos vertientes:

1ª Descarboxilación. El **ácido pirúvico (PYR)** va a perder el grupo CO_2 correspondiente al primer carbono, el carbono que tiene la función ácido.

2ª Oxidación. Al perderse el primer carbono, el segundo pasa de tener un grupo cetona a tener un grupo aldehído. Este grupo se oxidará a grupo ácido (**ácido acético**) por acción del NAD^+ . En el proceso interviene una sustancia, la **coenzima A (HSCoA)** que se unirá al **ácido acético** para dar **acetilcoenzima A (ACA)**.

Como vemos, se van a formar **2** nuevas moléculas de $\text{NADH} + \text{H}^+$ por cada molécula de **glucosa (GLU)** y, al mismo tiempo, se originan las primeras 2 moléculas de CO_2 .



EL CICLO DEL CÍTRICO O CICLO DE KREBS

Krebs (1938), denominó **ciclo del ácido cítrico (citrato)**, y hoy se conoce también como **ciclo de Krebs**, a la ruta metabólica a través de la cual el ácido acético unido a la coenzima A va a completar su oxidación en la matriz mitocondrial.

Este ciclo, no sólo va a ser la última etapa de la degradación de los azúcares, otros compuestos orgánicos (los ácidos grasos y determinados aminoácidos) van a ser también degradados a **acetilCoA (ACA)** e integrados en el **ciclo de Krebs**. El **ciclo de Krebs** es, por lo tanto, la vía fundamental para la degradación de la mayoría de los compuestos orgánicos y para la obtención coenzimas reductoras. Es la vía más importante para el **catabolismo** de las sustancias orgánicas.

INCORPORACIÓN DE OTRAS SUSTANCIAS AL CICLO DE KREBS

Al ciclo de Krebs van a incorporarse, además de las sustancias resultantes del catabolismo de los glúcidos, otras que provienen del catabolismo de otras las sustancias orgánicas. Así, por ejemplo, los ácidos grasos se degradan en las mitocondrias transformándose en acetilCoA. Este proceso se realiza en la matriz mitocondrial y recibe el nombre de **β -oxidación**.

MECANISMO DEL CICLO DE KREBS¹³

El **ciclo de Krebs**, como todo proceso cíclico, no tiene más principio o fin que el que nosotros queramos ponerle. Es alimentado continuamente en substratos y continuamente genera productos. Las sustancias intermediarias se recuperan para ser de nuevo integradas en él. Como una rueda girando sin fin, sólo se detendrá si faltan los substratos o si, por exceso de productos, se inhiben las enzimas que participan en él.

Las diferentes reacciones que se producen en este proceso son:

- 1) Condensación de la **acetilCoA (ACA)** con el **ácido oxalacético (OXA)** para formar el **ácido cítrico (CIT)**. En este proceso se recupera la **CoASH**.
- 2) Transformación del **ácido cítrico (CIT)** en su isómero, el **ácido isocítrico (ISO)**.
- 3) Descarboxilación oxidativa del **ácido isocítrico (ISO)** que se transforma en **αetoglutárico (αKG)** con la formación de **CO₂** y **NADH+H⁺**.
- 4) Descarboxilación oxidativa del **ácido αetoglutárico (αKG)** formándose **CO₂**, **NADH+H⁺** y **1 GTP (ATP)**. El **αetoglutárico (αKG)** se transforma en **ácido succínico (SUC)**.

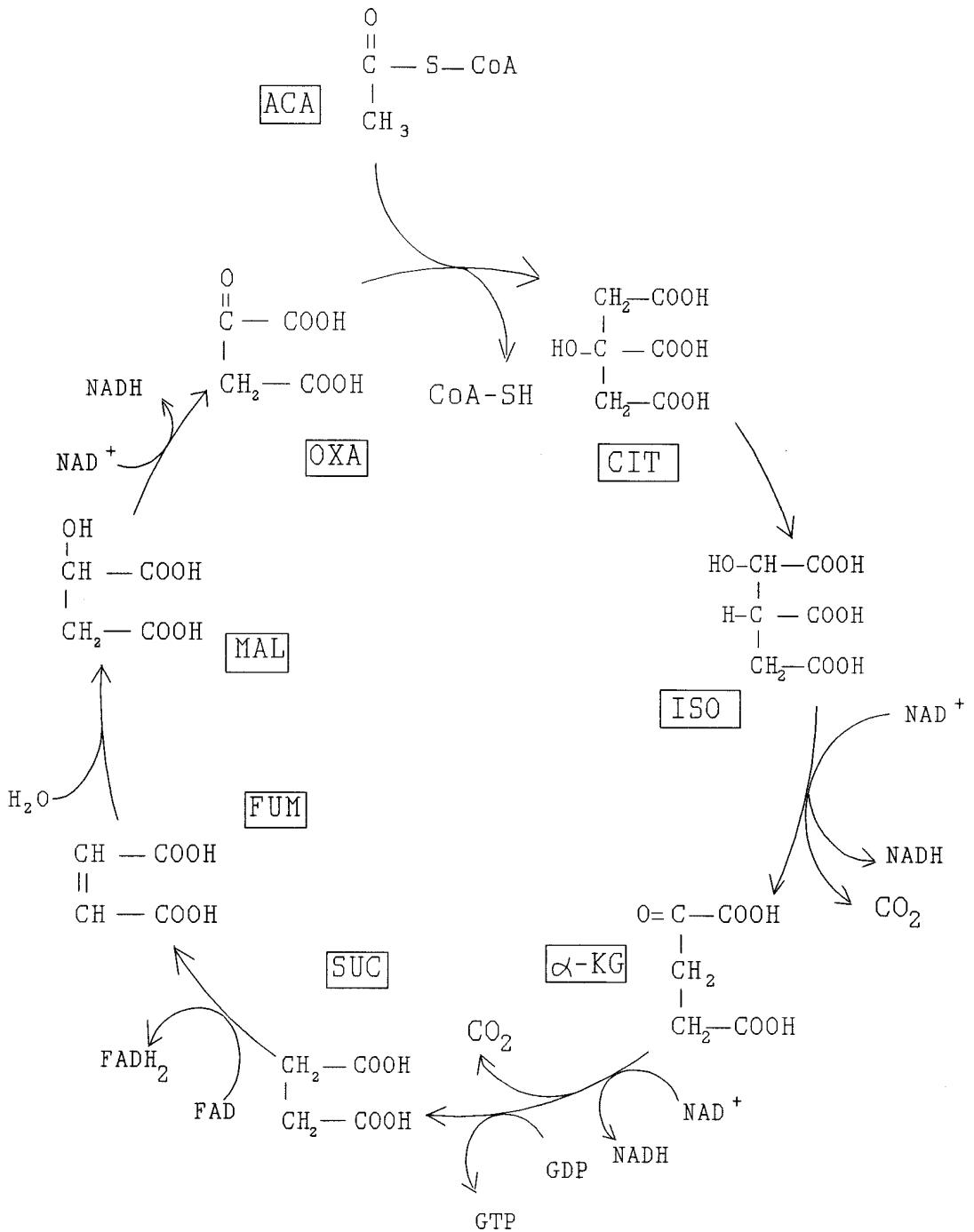
Vemos, que en estos momentos, ya se ha completado la degradación del **CH₃COC_oA (ACA)** con la formación de 2 moléculas de **CO₂**, cuatro por cada molécula de glucosa. Tenemos ya las 6 moléculas de **CO₂** que puede originar la glucosa. Las reacciones que vienen a continuación van a servir para recuperar el **ácido oxalacético (OXA)**.

- 5) Oxidación del **ácido succínico (SUC)** a **ácido fumárico (FUM)**. Esta oxidación se realiza por la formación de un doble enlace. Los electrones son transferidos al **FAD** que pasa a **FADH₂**.
- 6) Adición de agua al doble enlace formándose el **ácido málico (MAL)**.
- 7) Oxidación por el **NAD⁺** del alcohol del ácido málico, que se transforma en el **ácido oxalacético (OXA)**, completándose el ciclo.

Como podemos ver, la cantidad de **ATP** obtenida en la Glucólisis y en el Ciclo de Krebs es más bien escasa. Por el contrario, se van a obtener grandes cantidades de coenzimas reducidas: **NADH+H⁺** y **FADH₂** que serán oxidadas en la cadena respiratoria.

¹³ Lo que viene a continuación, se expone a los efectos de que los alumnos puedan interpretar esquemas relativos a este proceso y extraer las consecuencias que se derivan de ellos. No parece conveniente que el alumno deba saberlo de memoria.

EL CICLO DE KREBS O DEL CÍTRICO



LA CADENA RESPIRATORIA. CONCEPTO Y OBJETIVOS

Concepto: Consiste en un transporte de electrones desde las coenzimas reducidas, $\text{NADH} + \text{H}^+$ o FADH_2 , hasta el oxígeno. Este transporte se realiza en la membrana de las crestas mitocondriales.

Objetivos: Es en este proceso donde se obtendrá la mayor parte de la energía contenida en la glucosa y otros compuestos orgánicos, que será almacenada en forma de **ATP**. Al mismo tiempo se recuperarán las coenzimas transportadoras de electrones en su forma oxidada, lo que permitirá la oxidación de nuevas moléculas de glucosa y de otras sustancias orgánicas. Como producto de desecho se obtendrá agua.

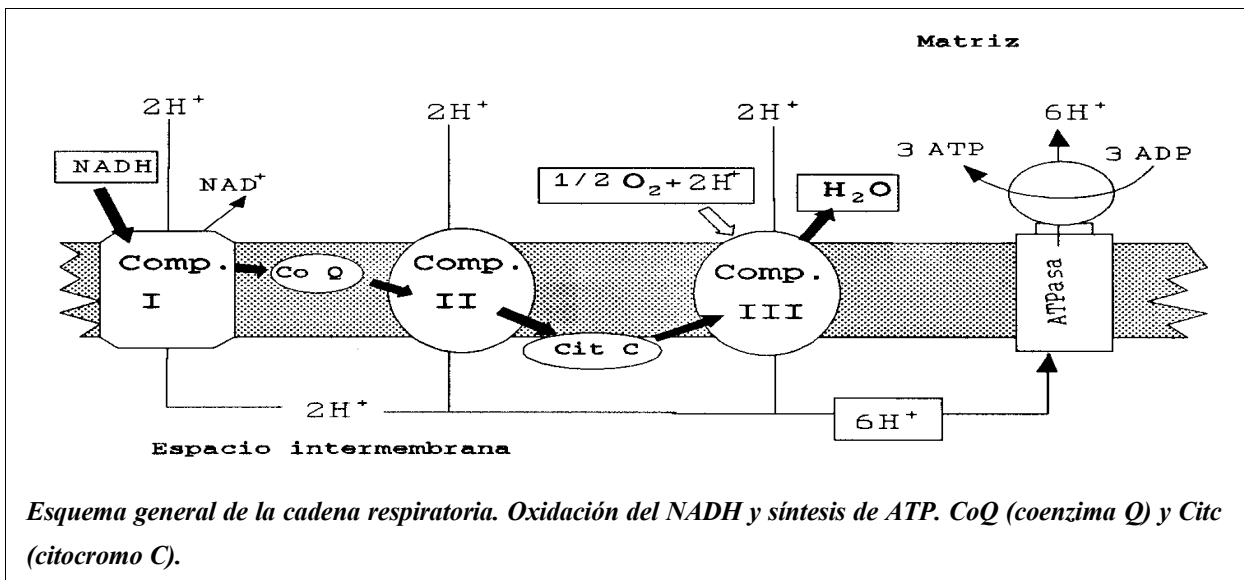
ESTRUCTURA DE LA MEMBRANA DE LAS CRESTAS MITOCONDRIALES

Las crestas mitocondriales tienen la estructura de toda membrana biológica. Empotradas en la doble capa lipídica se encuentran diferentes sustancias transportadoras de electrones. Estas están asociadas formando tres grandes complejos:

- Complejo I (NADH deshidrogenasa).
- Complejo II (Citocromo bc_1).
- Complejo III (Citocromo oxidasa).

Existen, además, otros transportadores: la coenzima Q (CoQ), el citocromo c (cit c) y la enzima ATP sintetasa.

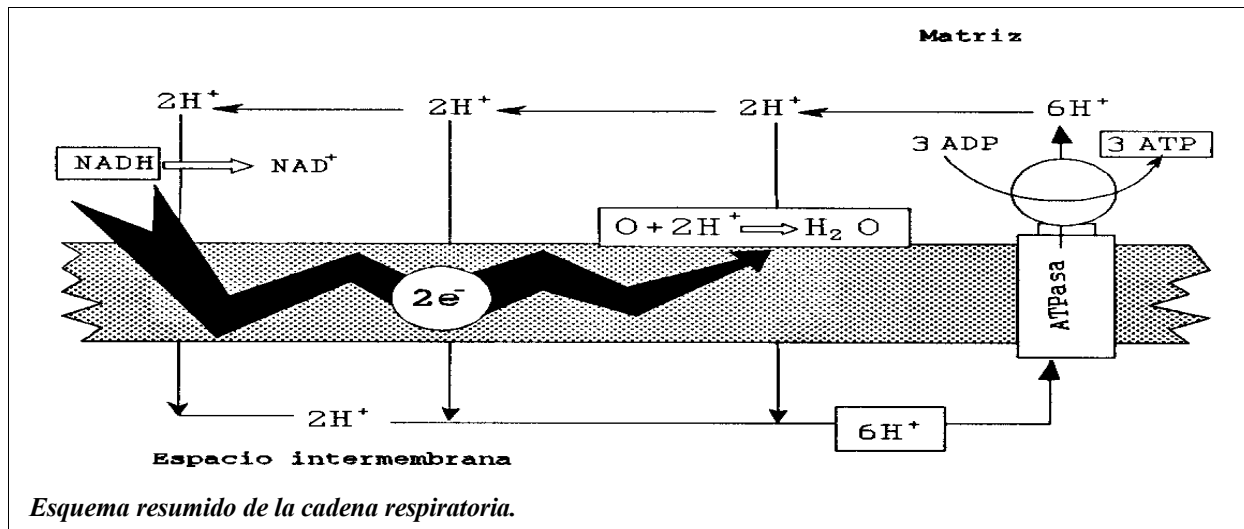
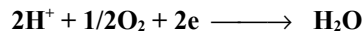
LA CADENA RESPIRATORIA: MECANISMO



En la membrana de las crestas mitocondriales se va a realizar un transporte de electrones desde el NADH o el FADH_2 hasta el oxígeno, tal y como se indica en la figura. Este transporte de electrones va a generar un transporte de protones

por parte de los complejos I, II y III desde la matriz hacia el espacio intermembrana. Cada complejo será capaz de bombear dos protones. La salida de estos protones a través de las ATPasas servirá para sintetizar ATP, 1 ATP por cada dos protones, de forma similar a como sucedía en los cloroplastos. El NADH es capaz de reducir al Complejo I por lo que se obtendrán 3ATP por cada molécula de NADH. El FADH₂ no puede reducir al complejo I y cede sus dos electrones a la CoQ (coenzima Q). Esta es la razón por la que el FADH₂ sólo genera 2 ATP.

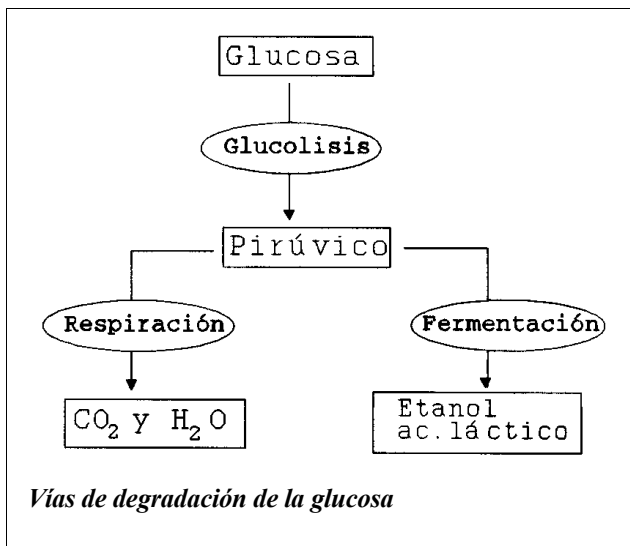
Los electrones serán cedidos finalmente al oxígeno que junto con dos protones del medio darán una molécula de H₂O



LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS

La oxidación del NADH+H⁺ y del FADH₂ en la cadena respiratoria tiene como aceptor final de los electrones al oxígeno. De esta manera, el NAD⁺ se recupera y la glucólisis y el ciclo de Krebs pueden mantenerse.

Si no hay oxígeno, el NADH+H⁺ y el FADH₂ se acumulan y los procesos de obtención de energía se interrumpen. En estas condiciones, condiciones anaerobias o de falta de oxígeno, ciertos microorganismos y, por ejemplo, nuestras células



musculares, recuperan las coenzimas oxidadas por diversas vías metabólicas conocidas bajo el nombre de **fermentaciones anaeróbicas**.

Es más, para algunos microorganismos, los **anaerobios estrictos**, las fermentaciones son su única fuente de energía. Se les llama anaerobios estrictos porque no pueden vivir en un medio que contenga oxígeno ya que éste les es letal. Otros,

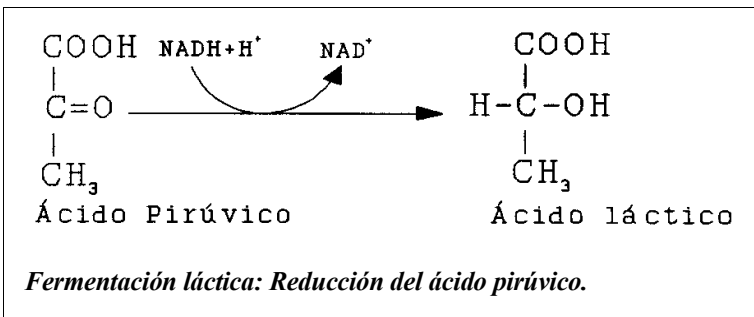
los **anaerobios facultativos**, utilizan estas vías como mecanismo de emergencia durante los períodos en los que no disponen de oxígeno.

En las fermentaciones, la glucosa no se degrada totalmente a CO₂ y H₂O, sino que se produce una degradación incompleta de la cadena carbonada.

Según el producto obtenido, tendremos las siguientes fermentaciones:

- a) Fermentación láctica.
- b) Fermentación alcohólica.

A) FERMENTACIÓN LÁCTICA

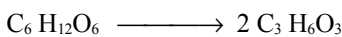


La realizan las bacterias del yogur y, por ejemplo, las células musculares, cuando no reciben un aporte suficiente de oxígeno, lo que sucede cuando se lleva a cabo un ejercicio físico intenso.

En la fermentación láctica, el ácido pirúvico es reducido a ácido láctico por medio del NADH+H⁺. De esta manera el NAD⁺ se recupera y pueden ser degradadas nuevas moléculas de la glucosa.

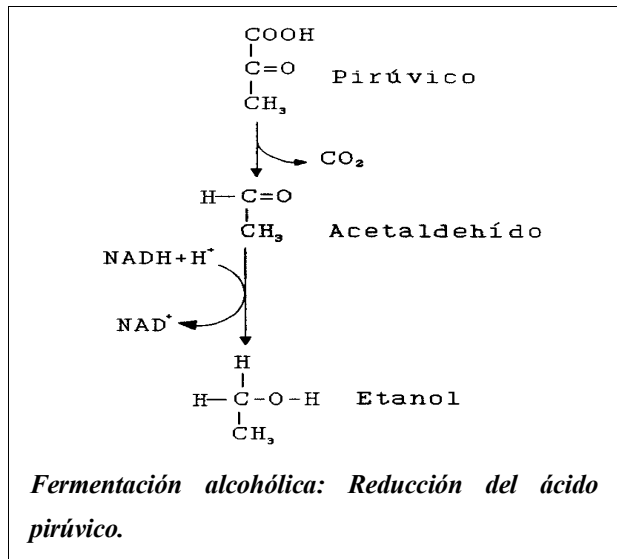
ECUACIÓN GLOBAL DE LA FERMENTACIÓN LÁCTICA

La fermentación láctica puede resumirse en la siguiente ecuación global:



B) FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

En la fermentación alcohólica el ácido pirúvico es transformado en alcohol etílico (etanol).

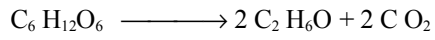


Esta fermentación la realizan, por ejemplo, las levaduras del género *Saccharomyces*. Se trata de un proceso de gran importancia industrial que, dependiendo del tipo de levadura, dará lugar a una gran variedad de bebidas alcohólicas: cerveza, vino, sidra, etc. En la fabricación del pan se le añade a la masa una cierta cantidad de levadura, la fermentación del almidón de la harina hará que el pan sea más esponjoso por las burbujas de CO₂. En este último caso el alcohol producido desaparece durante el proceso de cocción. La fermentación alcohólica tiene el mismo objetivo que la fermentación láctica: la recuperación del NAD⁺ en condiciones anaeróbicas.

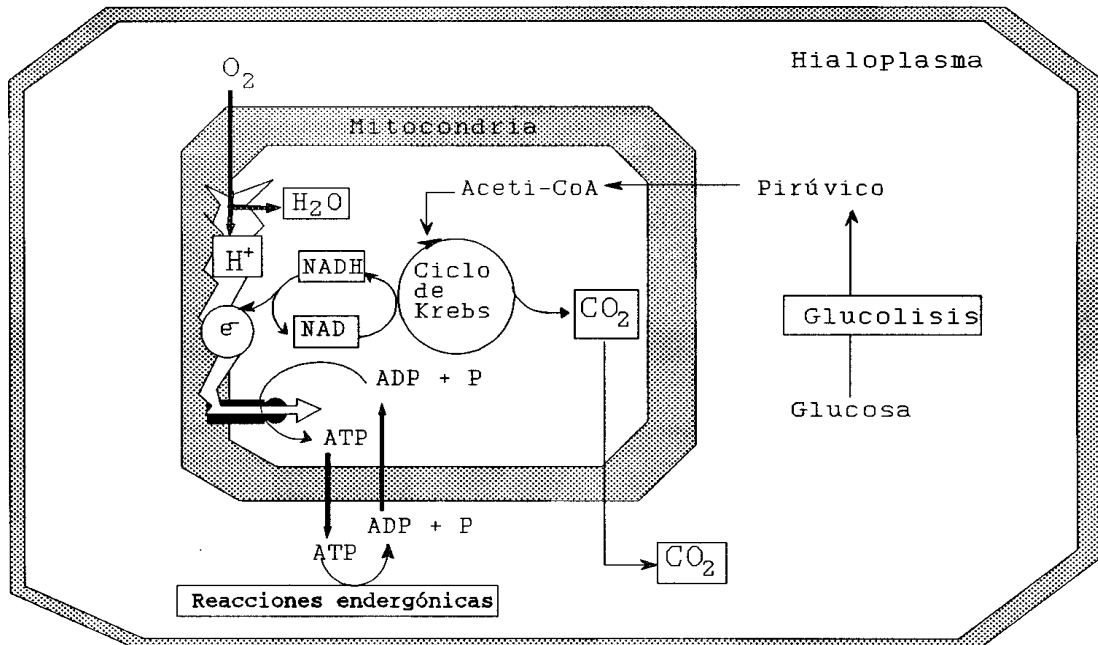
En la fermentación alcohólica el ac. pirúvico se descarboxila transformándose en acetaldehído y este es reducido por el NADH a alcohol etílico.

ECUACIÓN GLOBAL DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

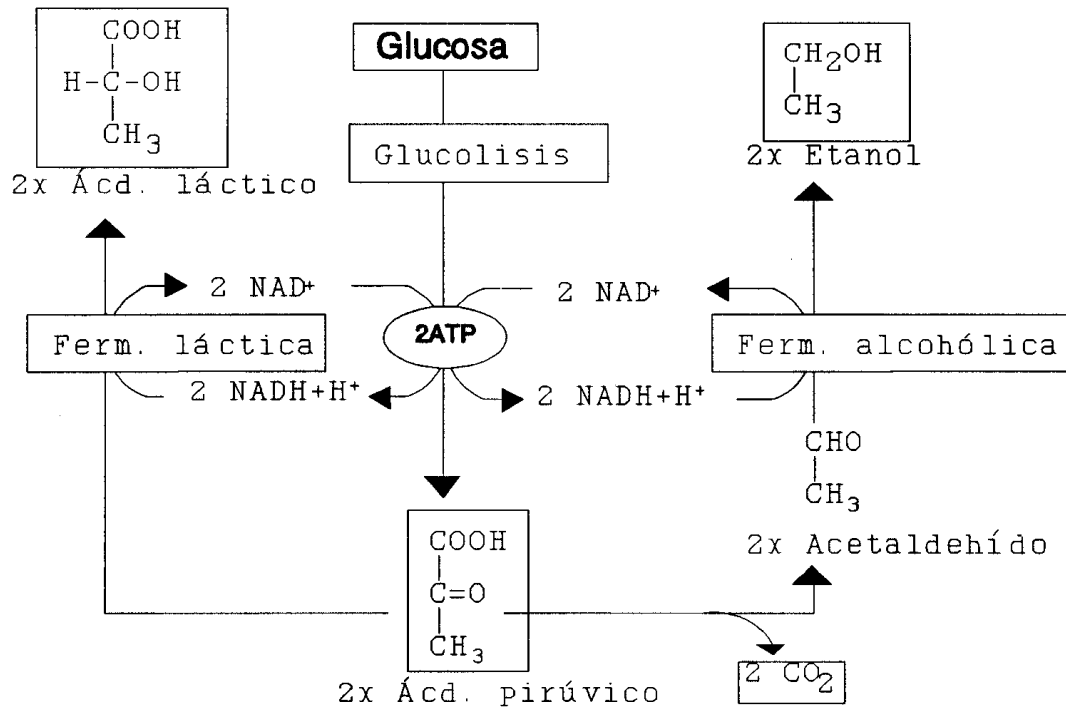
La fermentación alcohólica puede resumirse en la siguiente ecuación global:



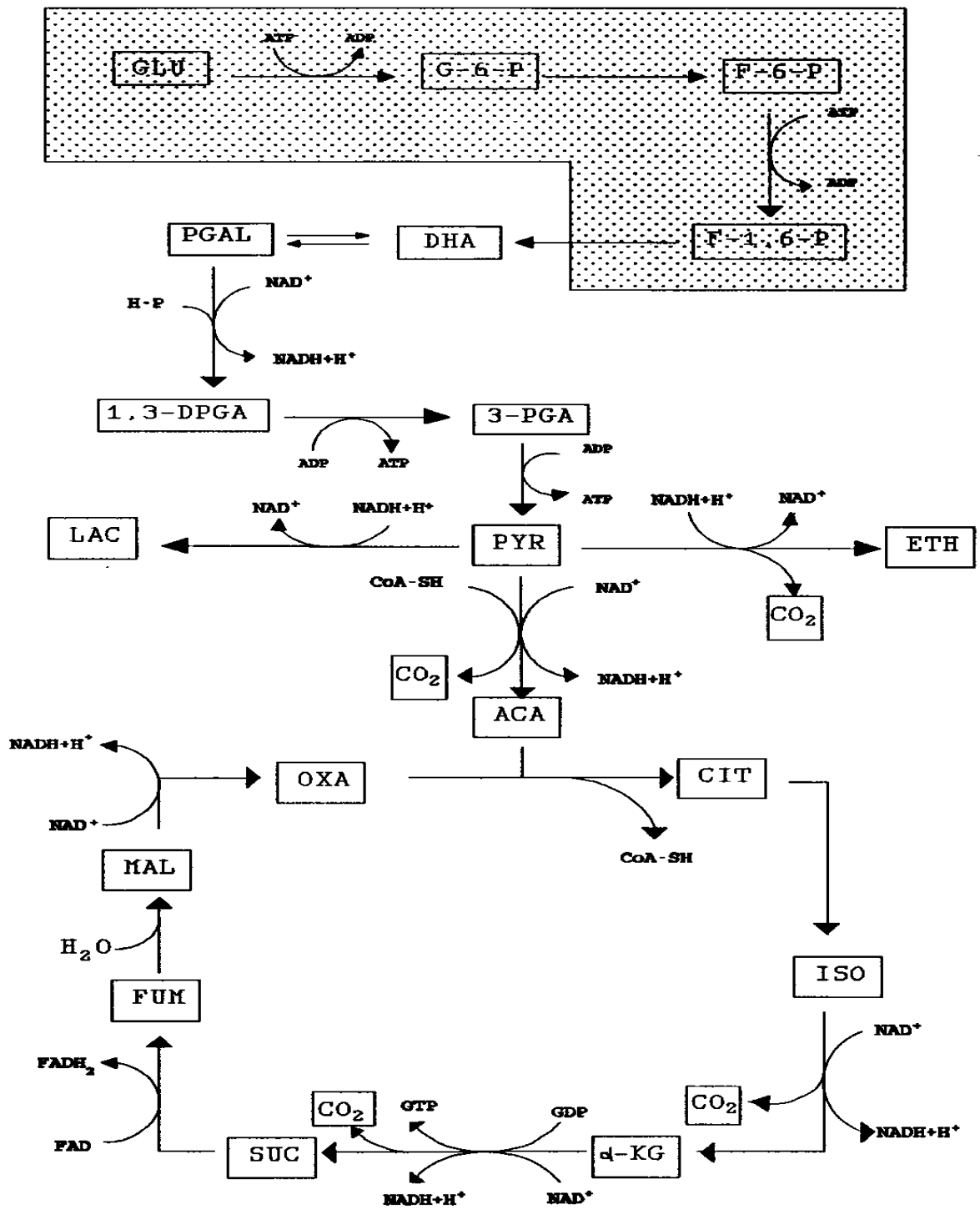
ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA RESPIRACIÓN CELULAR



ESQUEMA GENERAL DE LA GLUCOLISIS Y DE LAS FERMENTACIONES



LAS DIFERENTES VÍAS DE LA DEGRADACIÓN DE LA GLUCOSA



III FLUJO DE INFORMACIÓN

EL NUCLEO CELULAR.

El núcleo es una estructura característica de las células eucarióticas. Puede presentarse en dos aspectos muy diferentes: en interfase o en división. Fue descubierto por Robert BROWN en 1831.

Generalmente se presenta como una esfera de gran tamaño, que se destaca del citoplasma y que se encuentra separada de él por una envoltura nuclear, que es un elemento del retículo endoplasmático granular que rodea el material nuclear. El contenido del núcleo se revela al microscopio óptico como más o menos homogéneo, salvo por la presencia de pequeñas estructuras, también esféricas, llamadas nucleolos.

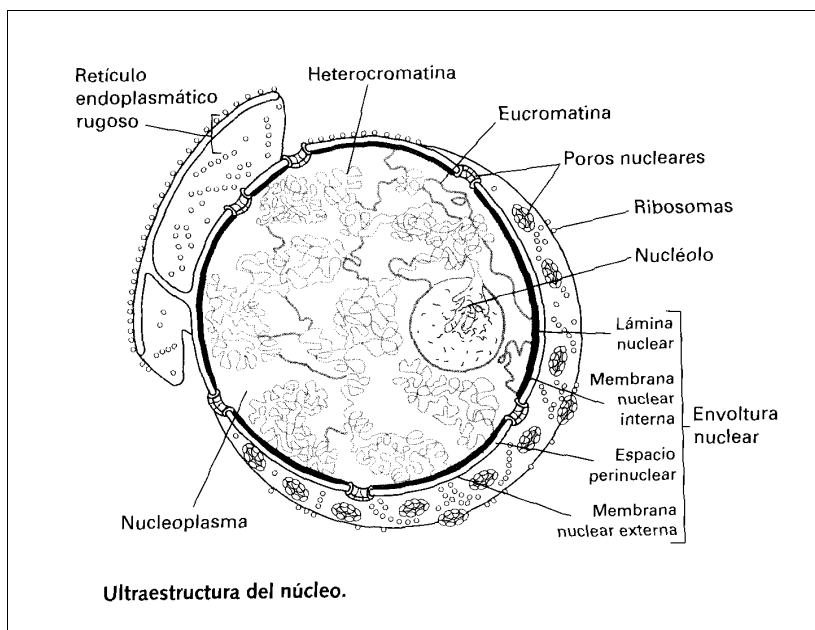
La forma del núcleo es inicialmente esférica pero en otras situaciones y casos adopta formas peculiares (polimorfismo).

La posición normal CENTRAL, pero puede verse desplazado parietalmente, etc.

El tamaño del núcleo es bastante constante en una misma especie celular.

El número es uno normalmente (a veces dos o más).

1 NUCLEO INTERFÁSICO ESTRUCTURA DEL NUCLEO INTERFÁSICO



A) ESTRUCTURA DE LA ENVOLTURA NUCLEAR

Está constituida por dos membranas unitarias: una exterior y otra interior, con un espacio entre ellas llamado espacio perinuclear y bajo ésta, una capa densa de proteínas fibrilares, denominada lámina nuclear. La envoltura proviene del retículo endoplasmático granular o rugoso y está conectada con él.

La envoltura nuclear está perforada por un elevado número de poros, los denominados poros nucleares, que sirven como canal para el paso de

sustancias desde el núcleo al citoplasma y viceversa.

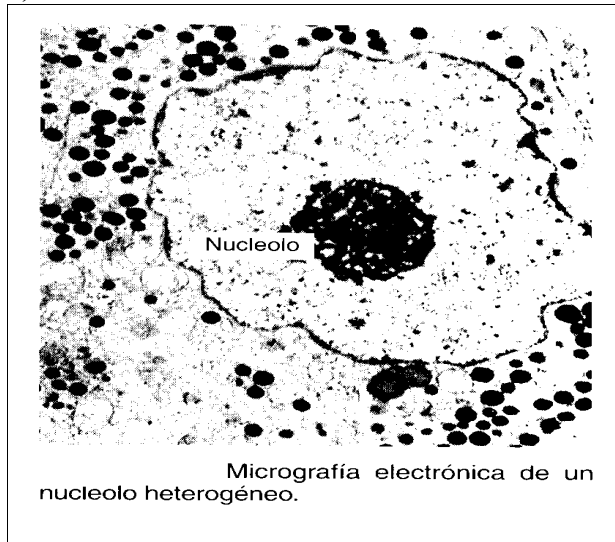
La membrana nuclear, por tanto: Sirve de separación de medios y regula el intercambio de sustancias.

La lámina nuclear: Induce la aparición y desaparición de la envoltura nuclear y resulta fundamental para la constitución de los cromosomas a partir de la cromatina

B) NUCLEOPLASMA.

Gel coloidal de biomoléculas de estructura y composición similar al hialoplasma, en él se encuentran inmersas la cromatina y el material no cromatínico.

C) EL NUCLEOLO.



Orgánulo esférico, sin membrana, de 13 μ de diámetro, visible incluso con el microscopio óptico. Suele destacar del resto del contenido nuclear por ser más brillante, más denso ópticamente.

Su función principal es la síntesis de ARNr. y el ensamblaje de los ribosomas. (El ARN ribosomal se sintetiza en él y las proteínas provienen del citoplasma). Cada nucleolo se produce a partir de una región específica del ADN denominada organizador nucleolar o zona organizadora del nucleolo.

En número de uno o dos o más (en viejas uno o ninguno, es decir depende del estado funcional de la célula). Cuando la célula se va a dividir desaparece.

Por tanto en su composición encontramos ARNn y proteínas.

D) LA CROMATINA O MATERIAL GENÉTICO.

Se la denomina así por teñirse fuertemente con ciertos colorantes. Tiene un aspecto muy variado: se puede presentar aislada, asociada al nucleolo o a la lámina interna del núcleo formando gránulos de cromatina.

La mayor parte de la cromatina se colorea uniformemente, algunas porciones de la misma pueden encontrarse más coloreadas.

Representa el genoma de las células eucariotas; está formada por ADN y proteínas de dos tipos: histonas y no histonas

D.1) estructura química de los ácidos nucleicos:

Conceptos generales:

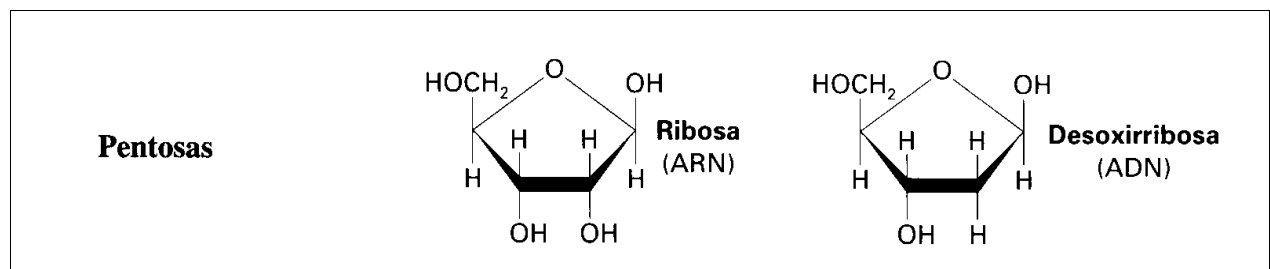
Los ácidos nucleicos son biomoléculas responsables de las funciones de los seres vivos, ya que contienen los mensajes y las instrucciones para llevar a cabo todos los procesos vitales. Lo que un individuo es o puede llegar a ser está determinado por sus ácidos nucleicos. Se puede decir que son los depositarios del guión de la historia que tiene lugar en la célula. Químicamente estas macromoléculas son polímeros de elevado peso molecular cuyo monómero se denomina NUCLEÓTIDO.

Constituidos por 5 bioelementos fundamentales: C, H, O, N, P

Por hidrólisis originan ácido ortofosfórico, una pentosa y bases nitrogenadas.

Existen dos tipos: ARN y ADN.

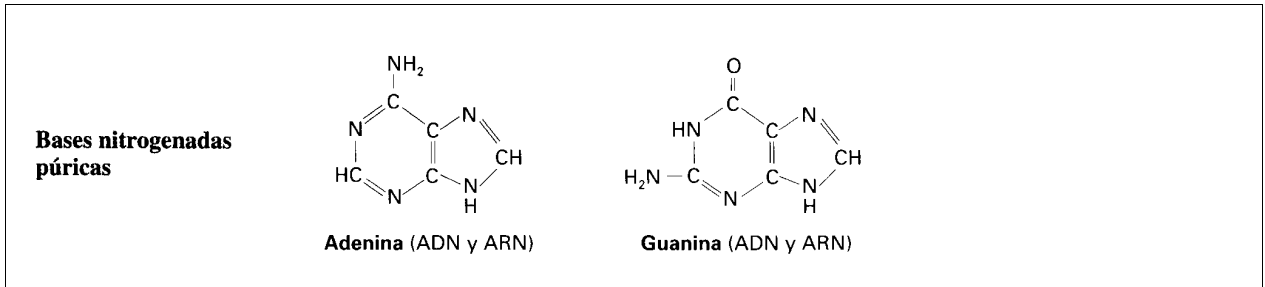
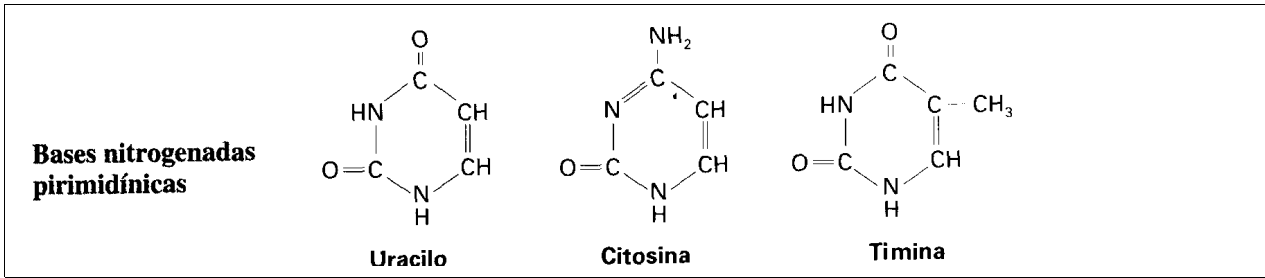
Las pentosas posibles son la RIBOSA o la DESOXIRRIBOSA.



Las bases nitrogenadas pueden ser:

Púricas: Derivan de la PURINA y son dos A, Adenina y G, Guanina.

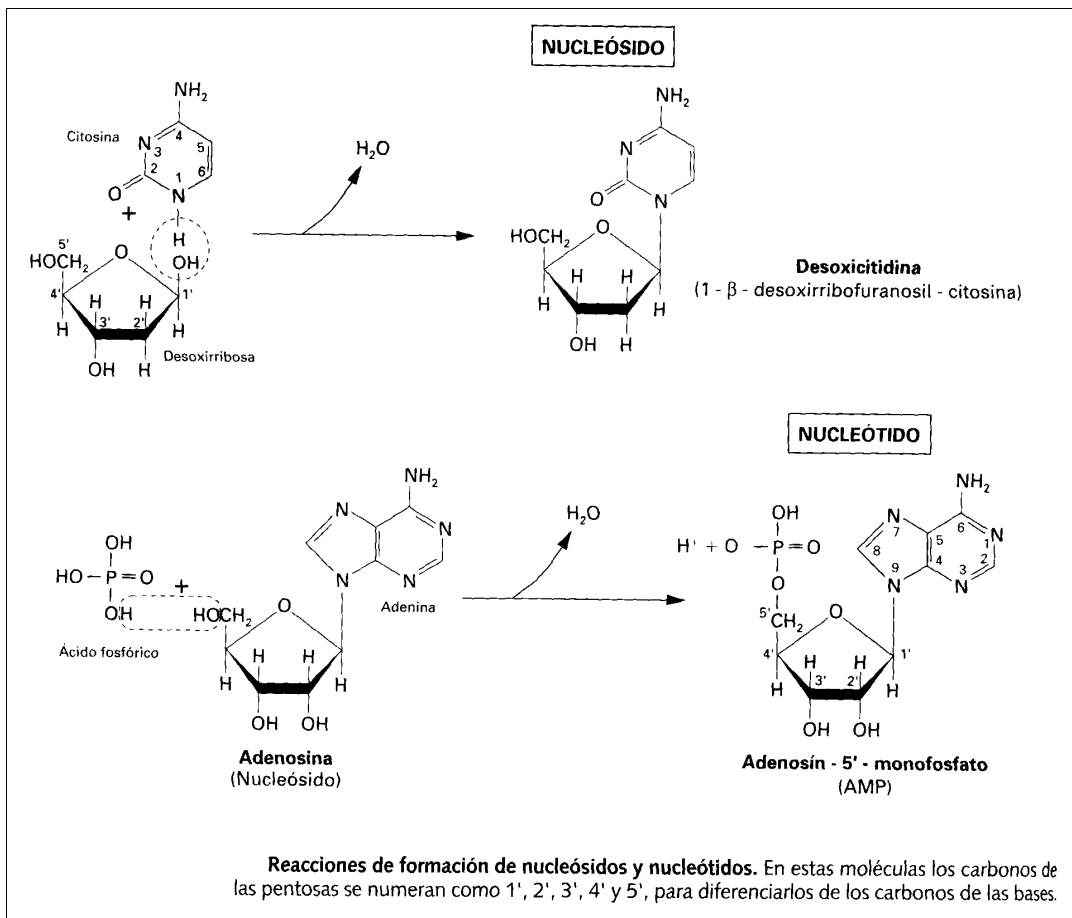
Pirimidínicas: Derivan de la PIRIMIDINA y son tres T, timina, C, citosina, U, Uracilo.



NUCLEÓSIDO = Pentosa + Base nitrogenada.

NUCLEÓTIDO = NUCLEÓSIDO + ácido ortofosfórico.

ÁCIDO NUCLEICO = POLINUCLEÓTIDO.



El enlace: Nglucosídico entre el Carbono 1 de la pentosa y el N de la base (N 1 si es pirimidínica, N 9 si es púrica).

LOS NUCLEÓTIDOS.

Son ésteres fosfóricos de nucleósidos.

Nucleósido + PO_4H_3 . Se unen en el Carbono 5 de la pentosa.

Los nucleótidos además de actuar como monómeros de los ácidos nucleicos llevan a cabo otras funciones importantes en la célula:

Son portadores de la energía química, como por ej. el ATP, el GTP...

Son componentes de cofactores enzimáticos como en el caso del Coenzima A, en el que parecen actuar como asidero de fijación que ayuda a tirar del sustrato para colocarlo en el centro activo del enzima.

Son intermediarios de la comunicación celular, como los AMPcíclicos o adenilciclasas que actúan en el interior de la célula provocando en ella cambios adaptativos.

Los ácidos nucleicos pueden presentar otras bases nitrogenadas secundarias, lo más general es que sean formas metiladas de las bases principales.

D.2) LOS ÁCIDOS NUCLEICOS.

Son polinucleótidos.

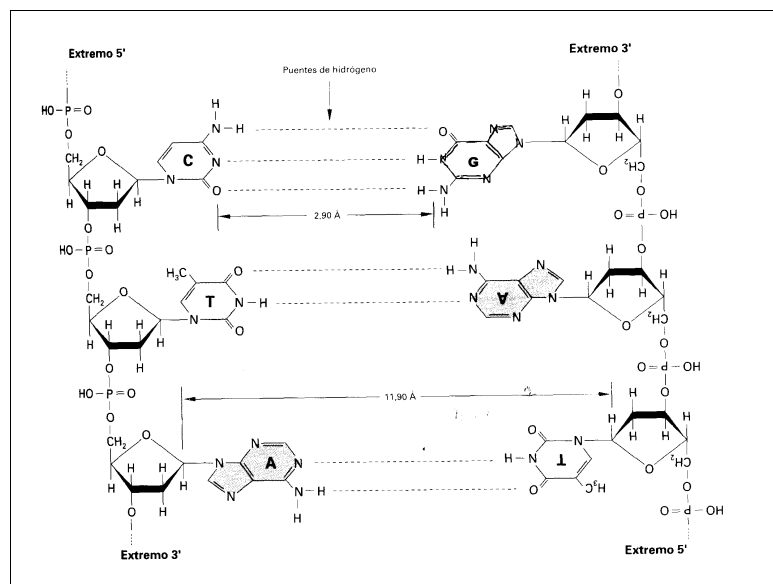
Los nucleótidos se unen a través del radical fosfato del carbono 5 de un Nucleótido con un radical OH del carbono 3 del siguiente Nucleótido.

Se dice por ello que están unidos por un enlace Fosfodiéster (es decir el ácido ortofosfórico se encuentra en el medio y está doblemente esterificado).

ESTRUCTURA BIOLÓGICA DEL DNA: Doble hélice, cadenas complementarias y antiparalelas.

El ADN, concepto general.

Están formados por muchos nucleótidos, es decir son polinucleótidos. Todo el genoma humano está formado por 3.10^9 pares de nucleótidos. Según su longitud hay diversos tamaños desde $1,7 \mu m$ (virus de la poliomielitis) a $2,36 m$ (todo el genoma humano).



Son Desoxirribonucleótidos de A, G, C y T unidos por enlaces fosfodiéster en el sentido 5'→3'

Su peso molecular es elevado.

Se encuentra asociado a proteínas básicas formando nucleoproteínas (en células eucariotas, son histonas o protaminas). (En las procariontas está asociado a proteínas similares).

Se pueden distinguir 3 Niveles estructurales:

Estructura primaria: La secuencia de los nucleótidos.

Estructura secundaria: la doble hélice.

Estructura terciaria: Collar de perlas, estructura cristalina, ADN superenrollado.

También se distinguen en las células eucariotas a partir de la propia estructura 3ª varios niveles de empaquetamiento.

ESTRUCTURA PRIMARIA DEL ADN.

Es la secuencia de nucleótidos de una cadena o hebra. Es decir la estructura primaria del ADN viene determinada por el orden de colocación de los nucleótidos en la hebra o cadena de la molécula.

Al existir la posibilidad de combinar cuatro nucleótidos distintos existe un elevado número de polinucleótidos lo que determina que el ADN contenga el mensaje biológico o información genética y explica la diversidad del mensaje genético de todos los seres vivos.

ESTRUCTURA SECUNDARIA

Datos preliminares:

A) A finales de los 40 Erwin CHARGAFF y sus colaboradores estudiaron los componentes del DNA y emitieron los siguientes resultados:

La concentración de bases varía de una especie a otra. El porcentaje de A, G, C y T es el mismo en los individuos de la misma especie y no por esto el mensaje es el mismo.

Tejidos diferentes de la misma especie tienen la misma composición en bases.

La composición en bases del DNA de una misma especie no varía con la edad del organismo ni con su estado nutricional ni con las variaciones ambientales.

Las densidades y viscosidades corresponden a la existencia de enlaces de Hidrógeno entre los grupos NH y los grupos CO.

La concentración de Adenina es igual a la de Timina, y la de Citosina a la de Guanina. Las dos primeras establecen dos puentes de hidrógeno entre ellas, y las últimas tres puentes. La cantidad de purinas es igual a la cantidad de pirimidinas.

B) Por medio del método analítico de difracción de rayos X, FRANKLIN Y WILKINS observaron una estructura fibrilar de 20 Å (Amstrongs) de diámetro con repeticiones cada 3,4 Å y una mayor cada 34 Å.

C) WATSON Y CRICK en 1953 postularon un modelo tridimensional para la estructura del DNA que estaba de acuerdo con todos los datos disponibles anteriores.

Así establecen el **MODELO DE DOBLE HELICE**:

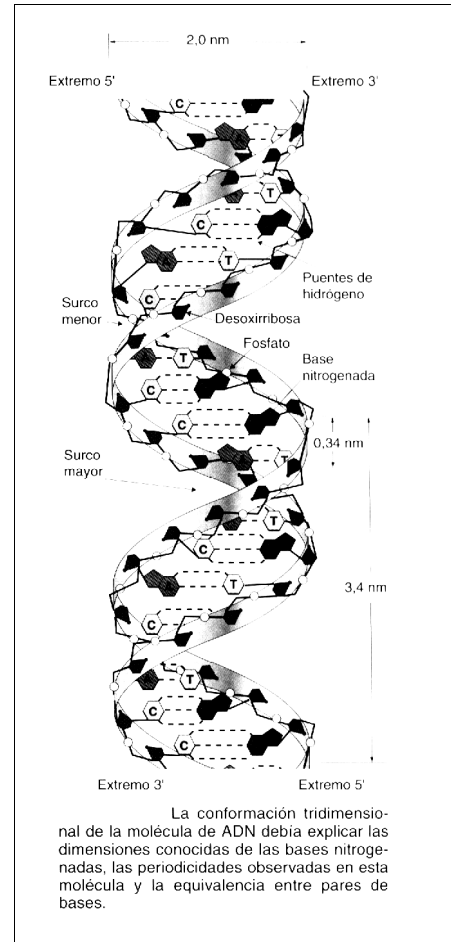
-La molécula de ADN está formada por dos cadenas antiparalelas y equidistantes de nucleótidos, enrolladas en espiral en torno a un eje imaginario, formando una hélice dextrógira.

-Las bases nitrogenadas se encuentran en el interior de la hélice unidas mediante puentes de hidrógeno y siempre emparejadas AT y CG, lo que hace que las dos cadenas sean complementarias.

-Las desoxirribosas y los grupos fosfato que las unen se encuentran en el exterior de la hélice, de modo que las cargas negativas de los grupos fosfato interaccionan con los cationes presentes en el nucleoplasma dando más estabilidad a la molécula.

El modelo de Watson y Crick dio una explicación coherente y satisfactoria para las propiedades fisicoquímicas del ADN y su función biológica, como estabilidad biológica y capacidad de duplicación

Las grandes moléculas de ADN se encuentran enrolladas por necesidad de reducir espacio en la célula y como mecanismo para preservar su transcripción.



PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA SECUNDARIA DEL ADN: DESNATURALIZACIÓN

Si una disolución de ADN se calienta suficientemente ambas cadenas se separan, pues se rompen los enlaces de hidrógeno que unen las bases, y el ADN se desnatura. La temperatura de desnaturalización depende de la proporción de bases. A mayor proporción de C-G, mayor temperatura de desnaturalización, pues la citosina y la guanina establecen tres puentes de hidrógeno, mientras que la adenina y la timina sólo dos y, por lo tanto, a mayor proporción de C-G, más puentes de hidrógeno unirán ambas cadenas. La desnaturalización se produce también variando el pH o a concentraciones salinas elevadas. Si se restablecen las condiciones, el ADN se renaturaliza y ambas cadenas se unen de nuevo.

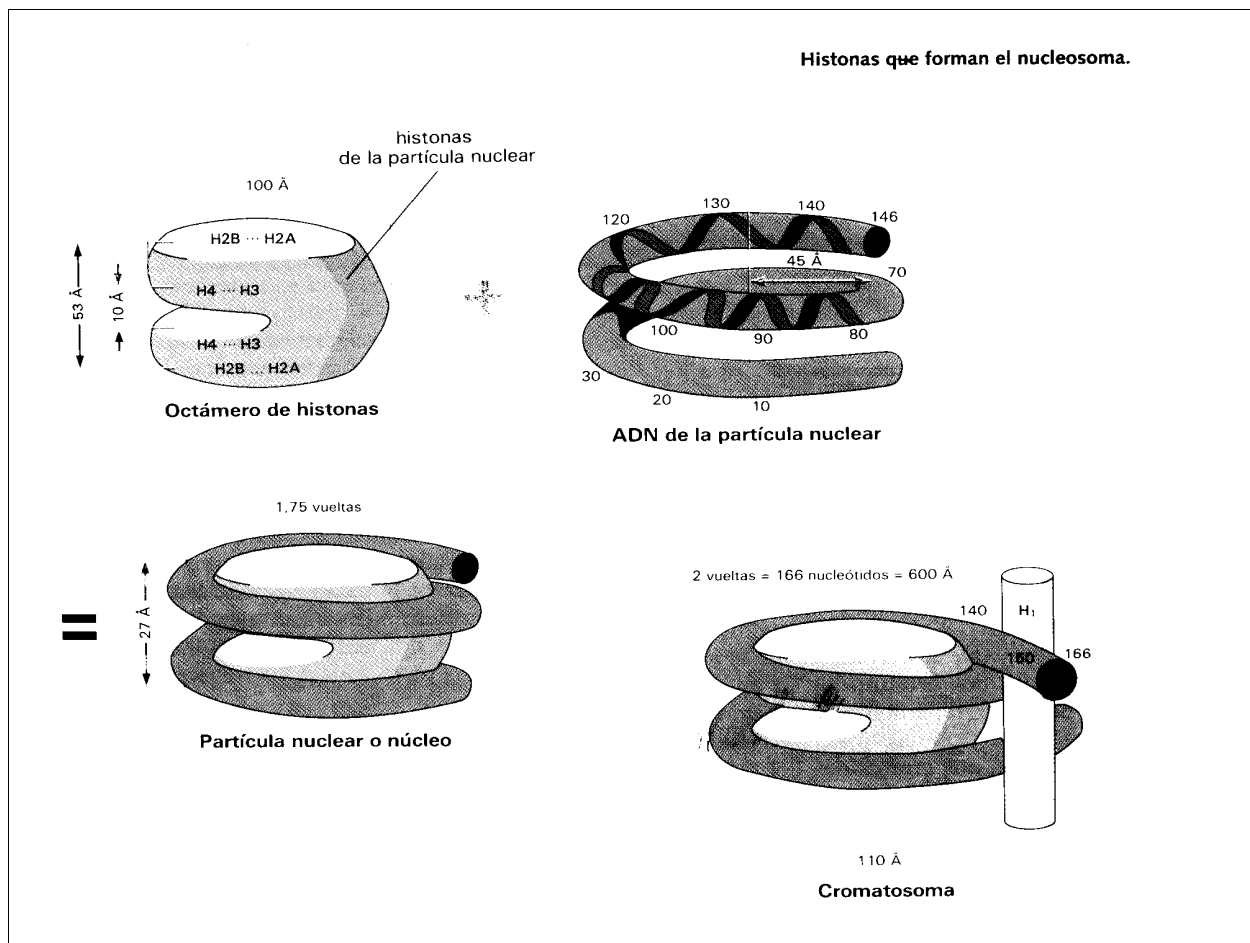
PRIMER NIVEL DE EMPAQUETAMIENTO DEL ADN (ESTRUCTURA 3ª DE LAS CELULAS EUKARIOTAS).

Está constituido por la doble hélice de ADN unida a las proteínas (Nucleoproteínas).

EL COLLAR DE PERLAS (FIBRA DE CROMATINA DE 100 Å o 10 nm).

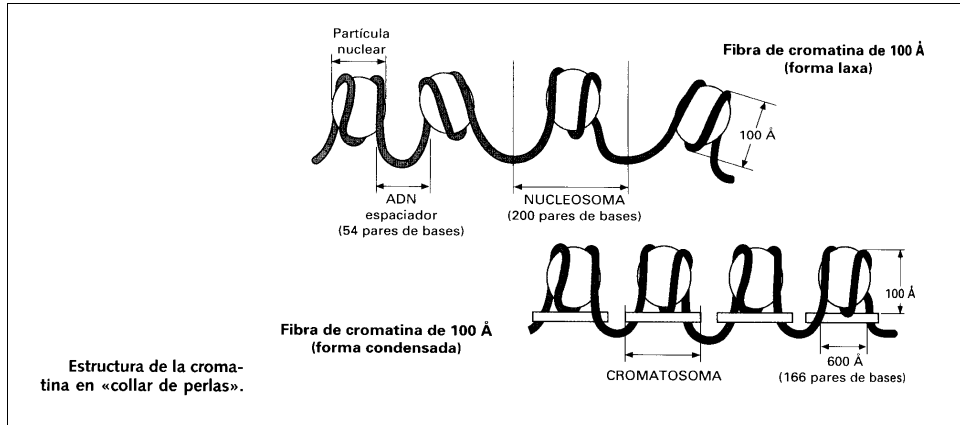
Se presenta en el núcleo de las células eucariotas en interfase. Entonces el DNA se asocia a proteínas denominadas histonas y no histonas formando la CROMATINA. Para ello presenta un nivel de empaquetamiento y ordenación del DNA en unidades estructurales denominadas NUCLEOSOMAS.

Es decir: Un OCTAMERO de histonas + ADN de la partícula nuclear (146 pares de nucleótidos)= PARTICULA NUCLEAR de 100 Å de diámetro. La PARTICULA NUCLEAR + ADN ESPACIADOR (54 pares de nucleótidos) = NUCLEOSOMA.



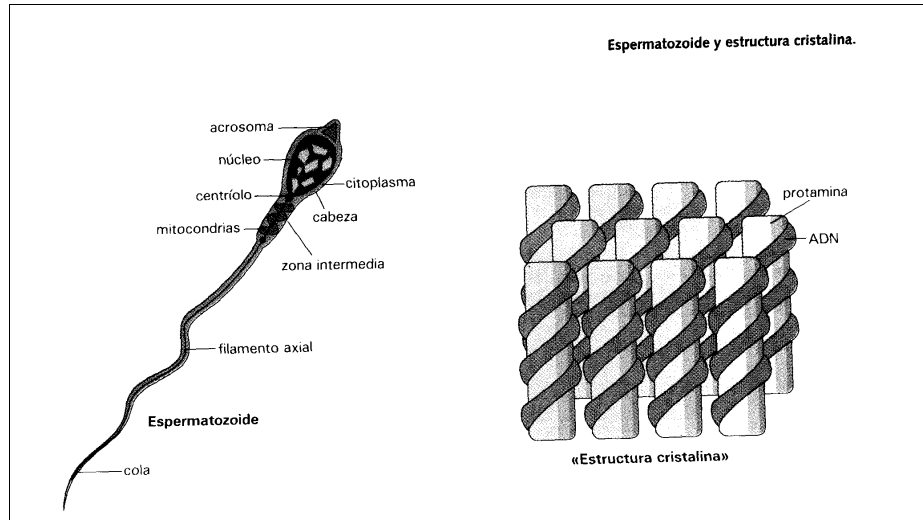
En otras ocasiones interviene una nueva histona, la histona 1, que sin formar parte del núcleo del nucleosoma suele estar unida al DNA de enlace. En ese caso el compactamiento es mayor. Así pues podemos considerar dos situaciones:

- 1) En forma laxa: Sólo NUCLEOSOMAS (ocupa 680 Å).
- 2) En forma condensada: NUCLEOSOMAS + H1 (Histona 1) (ocupa 100 Å). El OCTAMERO + H1 + ADN = CROMATOSOMA (166 pares de nucleótidos). Así es como se presenta la FIBRA DE 100 Å.



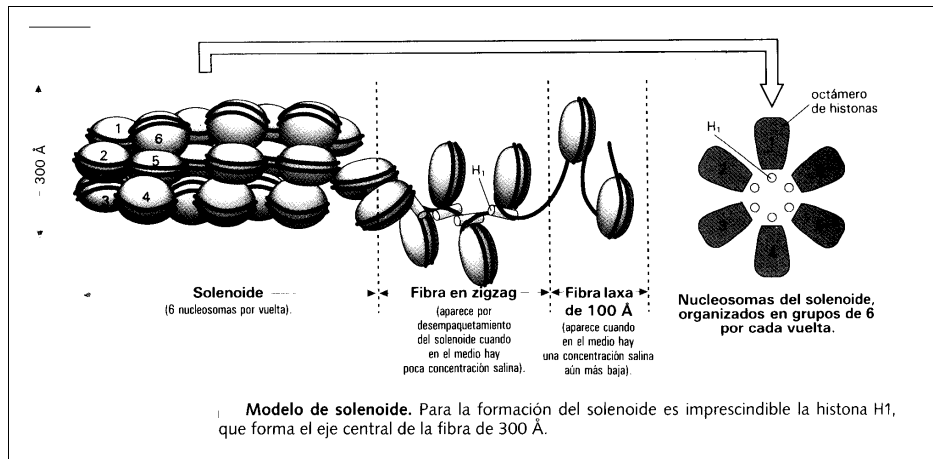
ESTRUCTURA CRISTALINA.

En los espermatozoides, el ADN se une a otras proteínas las PROTAMINAS, son más pequeñas, la atracción es mayor y más fuerte el empaquetamiento, por lo que se le atribuye el nombre análogamente a una estructura cristalina mineral.



SEGUNDO NIVEL DE EMPAQUETAMIENTO DEL ADN. FIBRA 300 Å:

Consiste en un enrollamiento de la fibra de 100 Å. La hipótesis del SOLENOIDE: 6 NUCLEOSOMAS por vuelta, constituyendo las H1 el eje central en torno al que se produce el enrollamiento. Ello determina el acortamiento de hasta 5 veces el COLLAR DE PERLAS (hasta 100 veces el acortamiento con relación a un DNA en estado libre).



En el núcleo la mayor parte de la cromatina se encuentra como fibra de 100 Å o de 300 Å.

NIVELES SUPERIORES DE EMPAQUETAMIENTO DEL ADN.

Serían los diferentes grados de compactación de la fibra de cromatina de 300 Å hasta el máximo que corresponde al cromosoma metafásico

TIPOS DE ADN.

Según la estructura: monocatenarios una cadena, (por ej. algunos virus) o bicatenarios con dos hebras o cadenas. A su vez en ambos casos puede ser el ADN lineal (ej. el núcleo de células eucariotas y algunos virus) o circular (en mitocondrias, cloroplastos y bacterias y algunos virus).

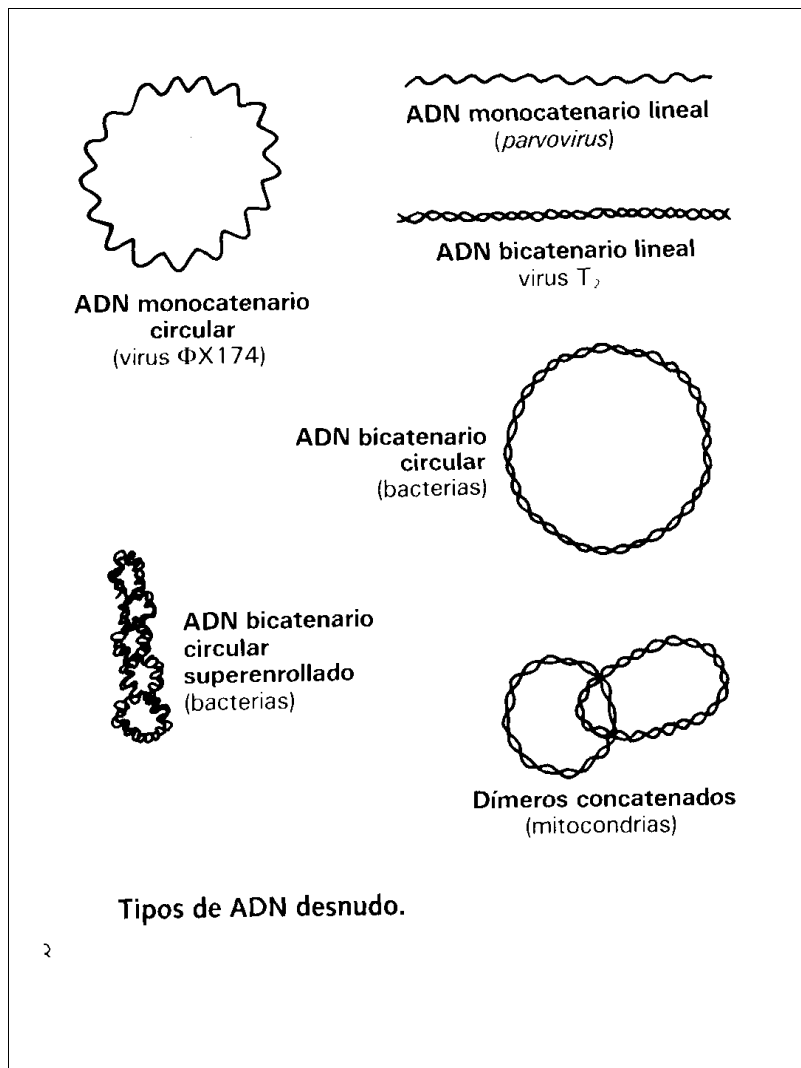
ÁCIDO RIBONUCLEICO (RNA o ARN).

Polinucleótido formado por ribonucleótidos de A, G, C y U, que se unen por enlaces fosfodiéster 5' 3'.

Es monocatenario en general, bicatenario en algunos virus, (por ej. los reovirus). La molécula es más corta que la del DNA.

No forma cadenas dobles salvo excepciones. A veces en ciertos tramos puede poseer **estructura secundaria** al aparecer apareamientos de bases dentro de la misma cadena (existiendo complementariedad de bases y antiparalelismo) y **estructura terciaria** (si se encuentra asociado a proteínas).

TIPOS: Bicatenario (ej. reovirus), Monocatenario (ARN de transferencia o transferente, ARN mensajero, ARN ribosómico y ARN nucleolar).



Se encuentra en muchos virus, en las células procariotas y en las células eucariotas.

ARNt, DE TRANSFERENCIA O TRANSFERENTE.

Es monocatenario con algunas zonas que poseen estructura secundaria, existe una complementariedad de bases que se unen lo que propicia su estructura.

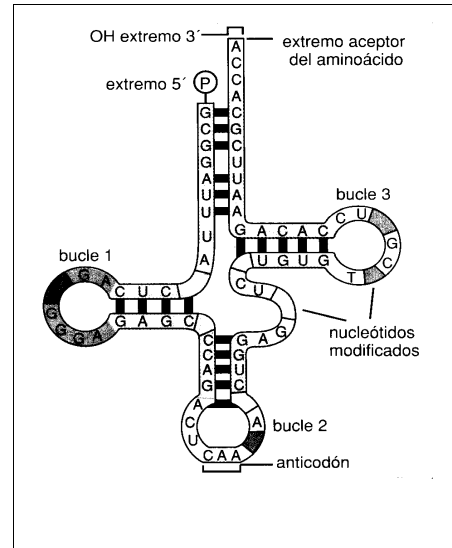
Esta semeja a una hoja de trébol aunque tridimensionalmente tiene forma de L retorcida; en ella podemos distinguir un brazo aceptor de aminoácidos abierto y un bucle Anticodon

Peso molecular del orden de 25.000; formado por 7090 nucleótidos, constituye el 15 % del total del ARN.

Se fabrica en el núcleo y sale hacia el citoplasma para realizar su función.

Cada ARNt se une específicamente a un aminoácido

Detalles: En el extremo 5' posee siempre G fosforilada. En el extremo 3' posee un triplete fijo CCA. El Anticodon posee el triplete complementario de un triplete del ARN mensajero. Corresponde a un aminoácido concreto, específico. Los nucleótidos que intervienen son A, G, C, U y otras bases modificadas (10%). En el brazo Anticodon está un triplete de bases o Anticodon que se corresponde con el Codon complementario del ARNm.

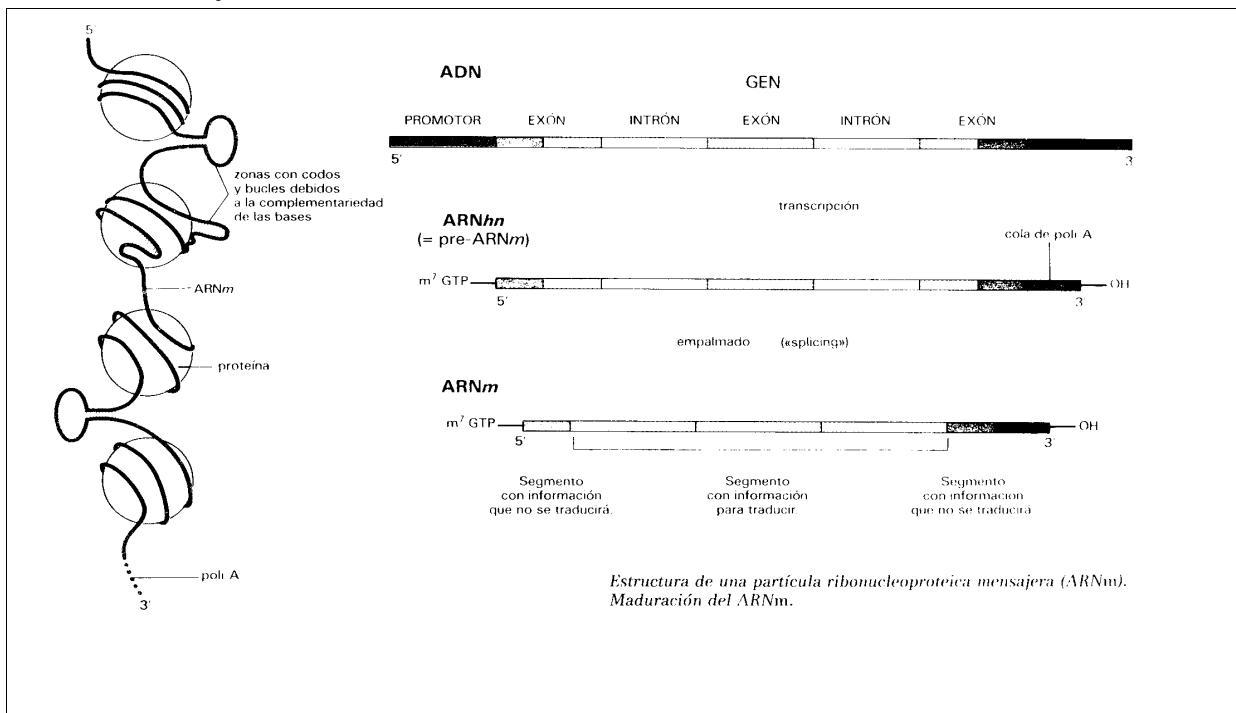


ARN MENSAJERO.

EUCARIOTICO:

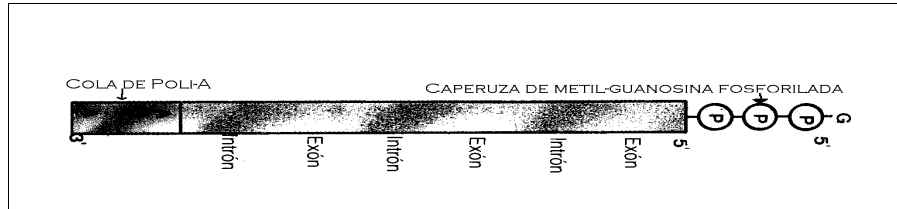
Es monocatenario con estructura primaria y algunas zonas de estructura secundaria. Su peso molecular es variable.

Formación : En el núcleo se forma primero un precursor del ARNm o pre ARNm = ARNhn (ARN heterogéneo nuclear), que posee partes que se van a expresar EXONES y partes que no se van a expresar INTRONES; tras un proceso de MADURACION, en que se eliminan los INTRONES se empalman los EXONES constituyendo el ARNm o ARN mensajero.



Detalles:

- En el extremo 5': Existe una CAPERUZA (GTP metilada invertida) que bloquea las exonucleasas. Es también una señal de inicio de la síntesis proteica. Luego existe un segmento sin información. Después AUG y el segmento con información.
- En el extremo 3' se encuentra la cola poli A (con 150200 Adeninas) que bloquea a las exonucleasas.



Duración: escasos minutos.

Es **monocistronico**: solo posee información para una proteína.

PROCARIOTICO:

Diferente estructura, sin **caperuza** ni cola **poli A**, no hay maduración.

Es **policistronico**: posee información para varias proteínas.

ARN RIBOSOMICO.

Es monocatenario, con tramos con estructura secundaria (doble hélice) por complementaridad de bases; con estructura terciaria cuando con las proteínas ribosómicas constituye las Nucleoproteínas.

Peso molecular variable

Se diferencian los ribosomas de las células procariotas y de las eucariotas por su peso molecular lo que se manifiesta en la diferente velocidad de sedimentación que poseen sometidos a ultracentrifugación. Se mide con las unidades S.

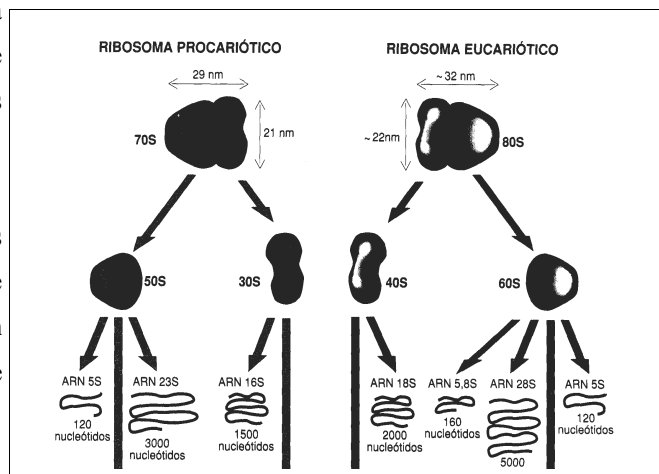


Gráfico sólo con fines informativos

CÉLULAS	Ribosoma
PROCARIOTAS	70 S
EUCARIOTAS	80 S

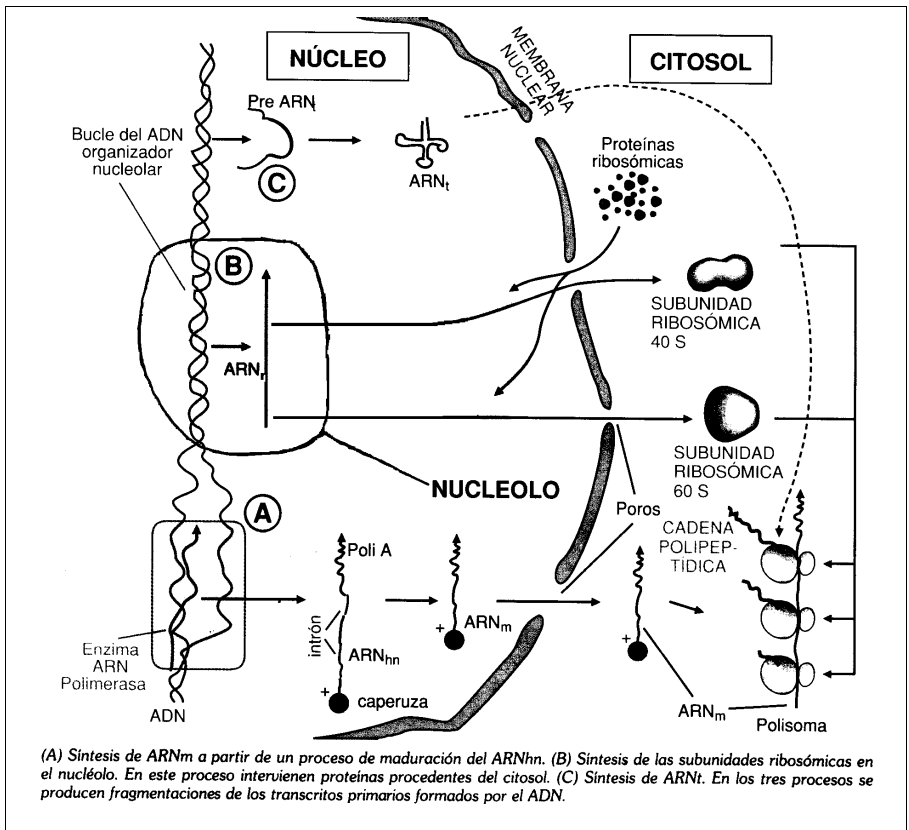
Constituye el 80% del total del ARN celular. Se encuentra en los RIBOSOMAS.

FUNCION: Lectura del ARNm

ARN NUCLEOLAR.

En el NUCLEOLO, origina la mayor parte de los ribosomas.

Formación: en la REGION ORGANIZADORA NUCLEOLAR.



1.2 EL DNA COMO PORTADOR DEL MENSAJE O INFORMACION GENETICA:

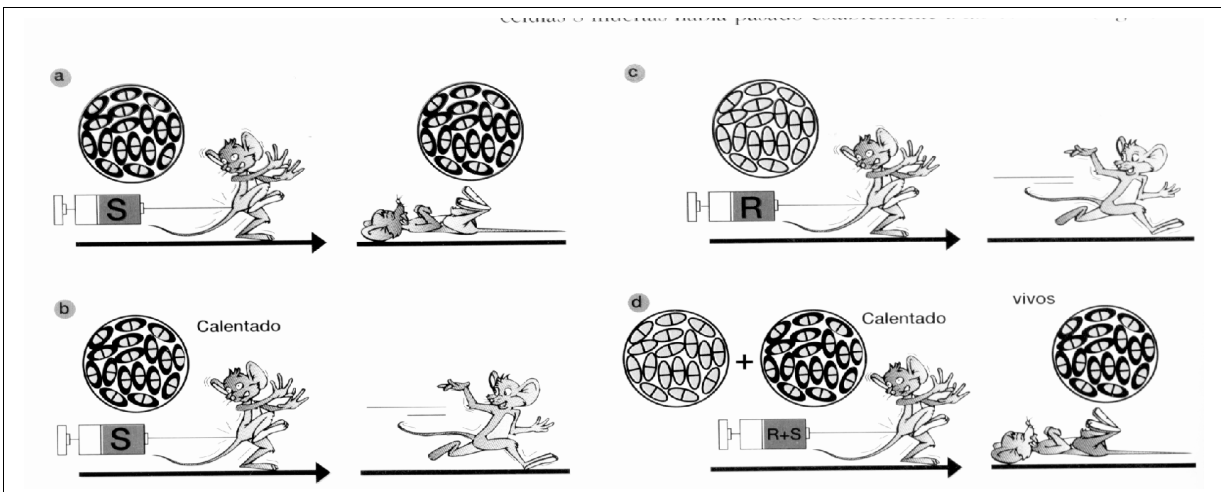
A) EL DNA, PORTADOR DEL MENSAJE GENETICO.

Los ácidos nucleicos son los portadores de toda la información biológica, es decir de cómo han de ser todas las moléculas, cuándo se han de producir y dónde, la forma y fisiología del individuo vivo,....

La información se transmite de generación en generación, a través del ADN que es el portador del mensaje genético.

EXPERIMENTO DEFINITIVO CONFIRMATORIO:

1928. GRIFFITH en *Diplococcus pneumoniae* con cepas S (Smooth = liso), virulentas y cepas R (rough = rugosa), no virulentas, observó que las S muertas + las R vivas enfermaban y mataban a los ratones. Algo había en las S muertas que las transformaba en S virulentas.



1944. AVERY, MCLEOD y MCCARTY: Se propusieron encontrar cual era el componente que transmitía el carácter heredable y en 1.943, llegan a la conclusión de que solo las bacterias no virulentas S que contenían ADN producían la transformación de las R en S virulentas.

Un año más tarde Avery y cols. publican el resultado de sus investigaciones.

B) CONCEPTO DE GEN. CONCEPTO CLÁSICO Y CONCEPTO MOLECULAR.

En el sentido clásico hay que entender al gen como determinante de un carácter, es lo que Mendel denominó “Factor”.

Posteriores experiencias, como la que llevó a cabo en 1901 GARROD con sus estudios sobre alcaptonuria (enfermedad recesiva debida a la presencia del ácido homogentísico que se caracteriza por artritismo y emnegrecimiento de los cartílagos y de la orina, cuando esta se pone en contacto con el aire. Esto se debe a la carencia de una enzima). Esta enfermedad se transmite de forma recesiva por lo que Garrod llegó a la conclusión de que el gen normal produce la enzima necesaria, mientras que el gen recesivo no la produce. Esta es la primera vez que se relaciona un gen con una enzima y por tanto con una reacción.

De aquí surgió la hipótesis un **gen-una-enzima**. Debido a que hay enzimas formadas por dos o más cadenas polipeptídicas, la hipótesis se reformuló con un **gen-un-polipeptido**.

Una vez establecido por el paralelismo entre genes y enzimas y tras ser propuesto, en 1.953, el modelo de doble hélice por Watson y Crick, este último propuso la denominada:

Hipótesis de COLINEALIDAD de CRICK: " **Existe correspondencia entre la secuencia de nucleótidos del gen y la secuencia de aminoácidos de la enzima codificada**".

C) ESTRUCTURA DEL GEN EN EUCARIOTAS

Antes de estudiar el mecanismo de la duplicación, de la transcripción genética y de la traducción, vamos a estudiar la estructura del material genético. Esto es, veamos cómo son los genes.

La mayoría de los genes son segmentos de la molécula de ADN que codifican la síntesis de una proteína, otros realizan funciones reguladoras. La estructura del ADN es muy compleja. La secuencia de nucleótidos que constituye un gen, y los propios genes entre sí, no se disponen linealmente, sino espaciados por fragmentos de ADN que no poseen información que pueda ser transcrita. En todo gen, además, distinguiremos las siguientes regiones:

1. **La región promotora** es una porción del ADN situada al principio del gen y que, sin codificar ningún aminoácido, sirve para que las enzimas que realizan la transcripción reconozcan el principio del gen.
2. **La región codificadora** es la parte del gen que contiene la información para la síntesis de la proteína. En la región codificadora van a existir fragmentos de ADN que no contienen información: los intrones, y fragmentos que sí contienen información: los exones.
3. **La región terminadora**. Marca el final del gen.

1.3 LA DUPLICACION DEL ADN.

Cuando una célula se divide, o cuando se forman los gametos, las nuevas células deben contener la información genética que les permita sintetizar todas las enzimas y el resto de las proteínas necesarias para realizar sus funciones vitales. Esta es una de las razones fundamentales por las que el ADN debe replicarse

Por otra parte, los seres vivos son temporales. La especie debe perdurar, lo que determina que en algún momento el mensaje genético se debe replicar y pasar a la siguiente generación.

La replicación o duplicación del ADN es el proceso según el cual una molécula de ADN de doble hélice da lugar a otras dos moléculas de ADN con la misma secuencia de bases.

La molécula de ADN tiene una replicación **Semiconservativa**. Los ADN hijos están constituidos por una hebra antigua y otra nueva.

COMPROBACION: MESELSON Y STAHL.

1º EXPERIMENTO.

1º) Cultivo de *E. coli* en un medio con N¹⁵ (nitrógeno pesado) durante media hora y luego en un medio con N₁₄ normal otra media hora.

A continuación se extrae el ADN bacteriano y se centrifuga.

Luego se observa con luz ultravioleta.

RESULTADO: El ADN era híbrido ya que se hallaba en una posición intermedia entre la posición que hubiera tenido el ADN de haber sido de N normal ligero y la que hubiera tenido el ADN con N¹⁵ pesado. Ello determinaba que la hipótesis conservativa era falsa.

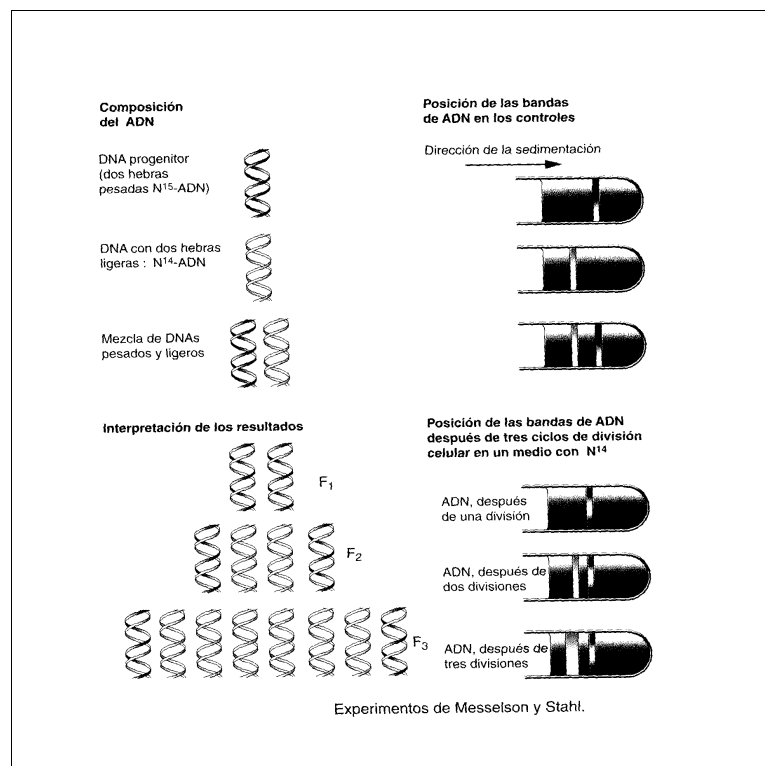
2º) Si se dejan las bacterias en N¹⁴ se producen mas divisiones:

Resultado de dos divisiones: aparecen ADN híbrido y ADN normal ligero.

Resultado de tres divisiones: aparecen ADN híbrido y ADN normal ligero más abundante.

Resultado de cuatro divisiones: aparecen ADN híbrido y ADN normal ligero mucho más abundante. Etc.

Ejercicio:



Un cultivo bacteriano, crecido durante muchas generaciones en un medio nutritivo que contiene P³¹ (fósforo no radiactivo) se transfiere a otro medio en el que el fósforo se ha sustituido por P³² (fósforo radiactivo). A lo largo de sucesivas generaciones, vamos separando algunas bacterias y analizamos su ADN.

EJERCICIOS

- a) ¿Qué tipos de ADN encontraremos en las generaciones 1ª, 2ª y 3ª?
- b) ¿Qué experimento clásico recuerda el aquí presentado y a qué conclusiones se llegó a partir de los resultados obtenidos en dicho experimento?

OBSERVACION DE DUPLICACION DE ADN IN VIVO. CAIRNS. 1963.

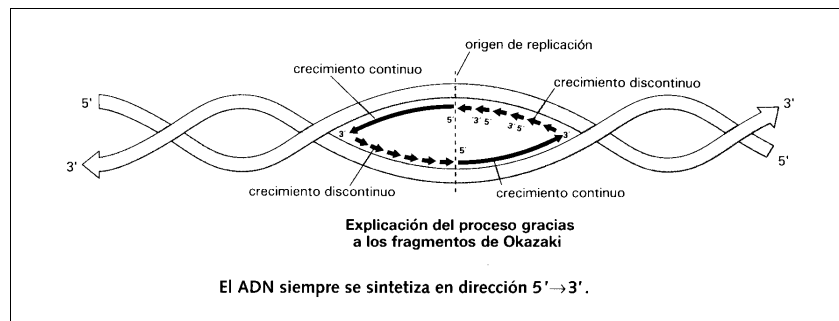
Confirma que la replicación del ADN es semiconservativa.

Que la dirección de replicación es siempre 5' → 3'

Que en eucariotas hay más de un origen de replicación.

MECANISMO DE DUPLICACION DEL ADN

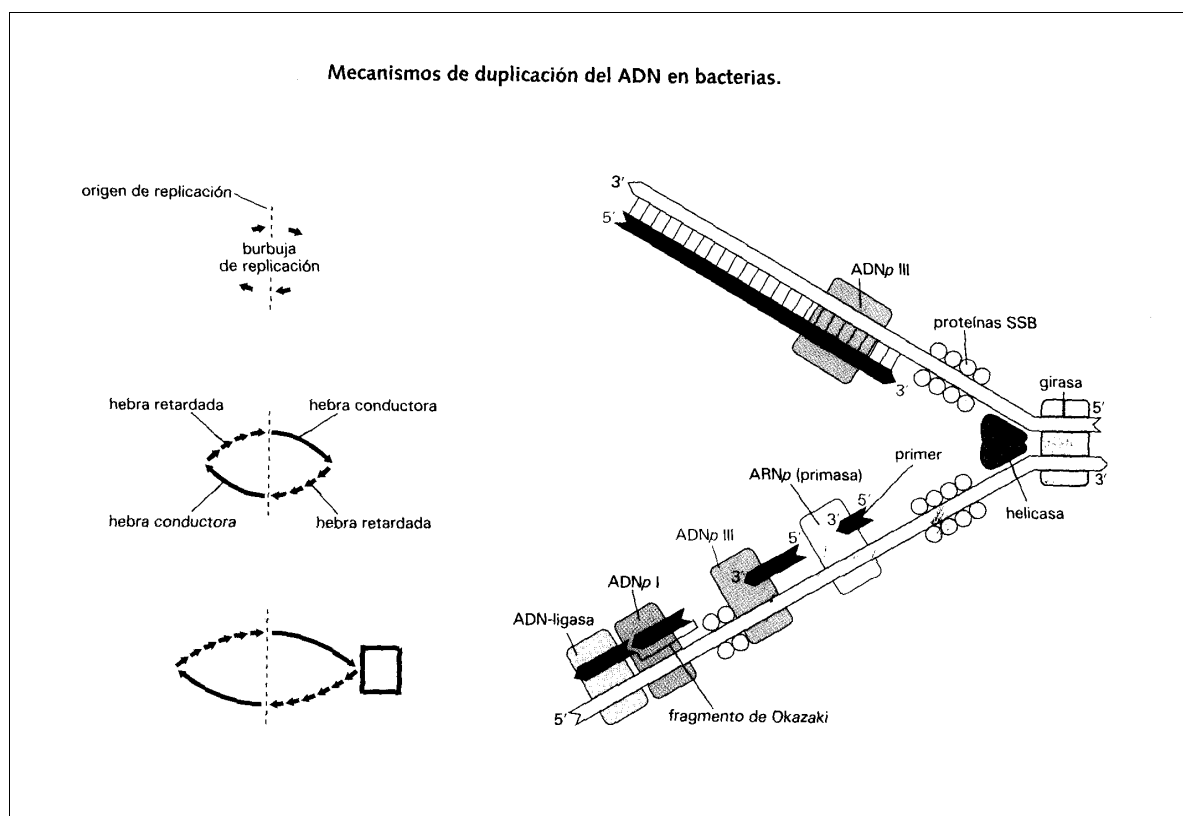
- 1) Comienza el origen de la replicación en una señal o **secuencia de iniciación** del ADN.
- 2) Se produce una rotura de los enlaces de Hidrógeno entre las hebras que se separan para convertirse en hebras patrones. Los problemas que ocasiona el enrollamiento se resuelven gracias a la acción de sistemas enzimáticos.
- 3) Para que las dos hebras no vuelvan a unirse es necesaria la presencia de unas proteínas.



- 4) Se forman una **BURBUJA U OJO DE REPLICACION**, en procariotas y varias en eucariotas siendo el proceso **bidireccional**, es decir progresa en ambas direcciones.
- 5) Actúa una ARN Polimerasa o PRIMASA sintetizando un ARN, el **ARN PRIMER O CEBADOR** en sentido 5' → 3'.
- 6) Interviene después la ADN POLIMERASA III que partiendo del Primer, comienza a sintetizar en dirección 5' → 3' a partir de nucleótidos trifosfato, resultando así la **HEBRA DE CRECIMIENTO CONTINUO O HEBRA CONDUCTORA**. (SINTESIS CONTINUA).
- 7) En la hebra antiparalela se forman numerosos fragmentos de OKAZAKI actuando primeramente la ARN Polimerasa sintetizando un fragmento de ARN, al tiempo que la ADN Polimerasa actúa sintetizando ADN que se unen al trozo de ARN. Este proceso se va repitiendo a medida que se van separando las dos hebras patrón.
- 8) Luego actúa la ADN Polimerasa I que es una exonucleasa separando el trozo de ARN de los fragmentos y rellenando con ADN los huecos resultantes.
- 9) Después actúa la ADN Ligasa uniendo los fragmentos.

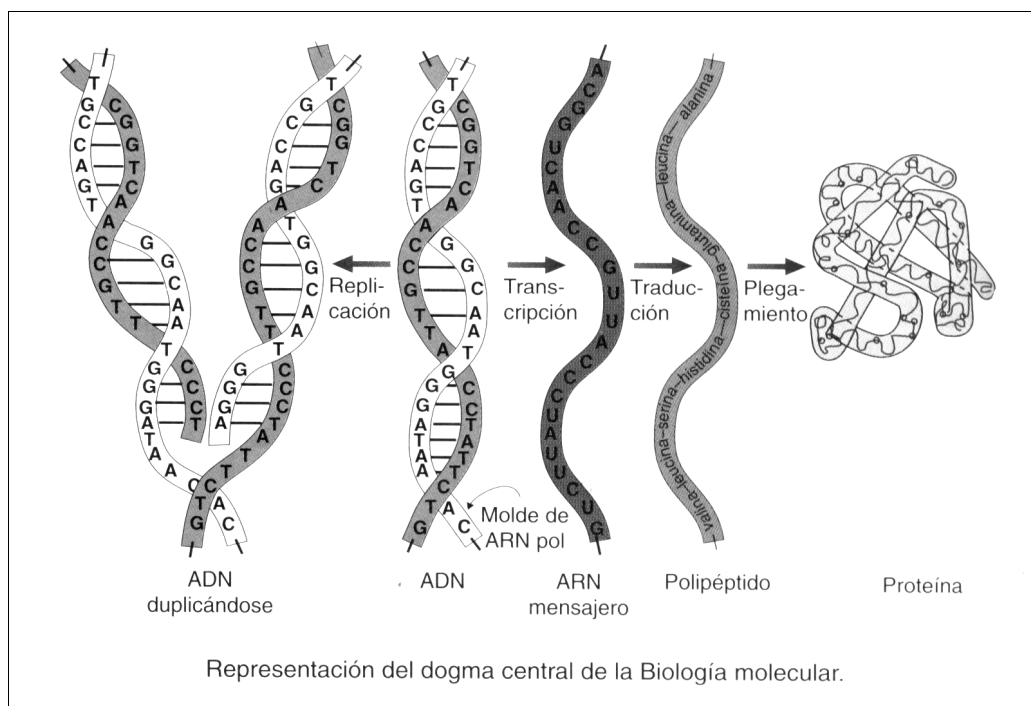
Así es como resulta la **HEBRA DE CRECIMIENTO DISCONTINUO O HEBRA RETARDADA**. (SINTESIS DISCONTINUA).

Dado que el crecimiento es bidireccional, cada una de las nuevas hebras está sintetizada, en parte, de forma continua y en parte de forma discontinua.



1.4 EXPRESIÓN DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

MECANISMO:



Representación del dogma central de la Biología molecular.

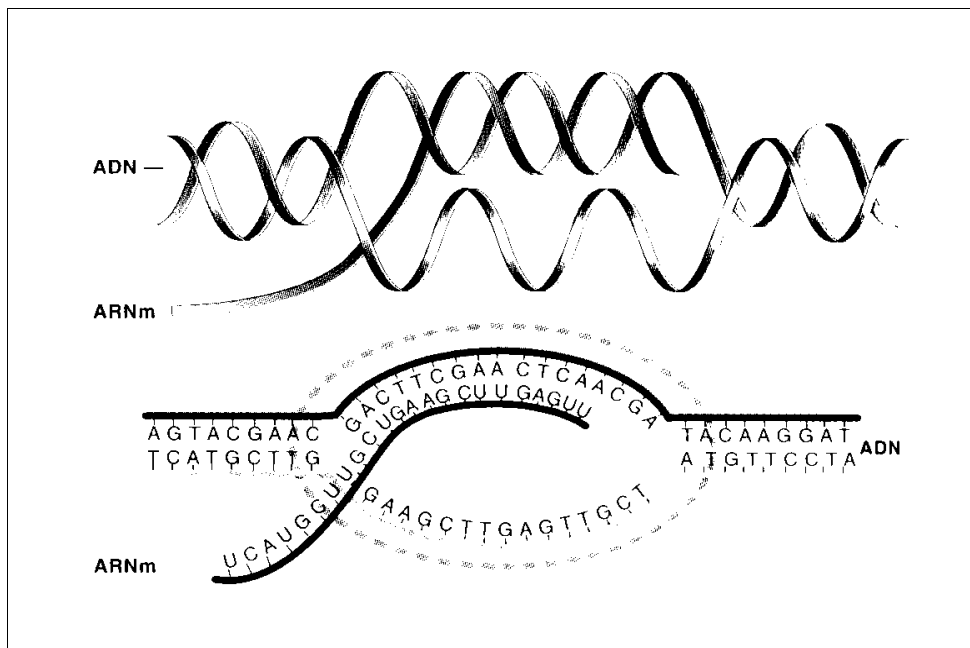
El núcleo contiene la información genética; esto es, la información necesaria para que se puedan realizar las funciones celulares.

La **transmisión de la información genética** de los ascendientes a los descendientes y de una generación celular a la siguiente se realiza a través del núcleo celular. Debido a esto en el núcleo se realizará el **proceso de duplicación o replicación del ADN**.

Los procesos de síntesis del ARN, **Transcripción de la información genética** para la posterior síntesis de proteínas en el hialoplasma, se dan también en el núcleo.

Por último, esta información se traducirá (**Traducción**) en el citoplasma celular, pues en él se realizará la síntesis de proteínas.

A) MECANISMO DE LA TRANSCRIPCIÓN: La transcripción es el paso de una secuencia de ADN a una secuencia de ARN, ya sea ARNm, ARNr o ARNt.



Consiste en el paso de la información de la secuencia de bases del ADN a la secuencia de bases del ARN.

Intervienen: ADN, ribonucleótidos trifosfato de Adenina, Guanina, Citosina y Uracilo, la ARN Polimerasa.

Destaquemos por otra parte que para cada gen sólo una de las cadenas que posee el ADN se transcribe.

-EN EUKARIOTES:

Proceso de la transcripción:

1. **Iniciación:** Una ARNpolimerasa comienza la síntesis del precursor del ARN a partir de unas señales de iniciación “secuencias de consenso” que se encuentran en el ADN
2. **Alargamiento:** La síntesis de la cadena continúa en dirección 5' →3'. Después de 30 nucleótidos se añade una caperuza de metilGTP en el extremo 5'. Esta caperuza parece tener una función protectora para que las enzimas exonucleasas no la ataquen. Una vez que esto ha ocurrido continúa la síntesis en la dirección 5' → 3'
3. **Finalización:** Una vez finalizada la síntesis de ARN, una poliApolimerasa añade la cola poliA, y se libera el ARNm precursor.

4. Maduración:

El ARNm precursor contiene tanto los exones como los intrones. Se trata por tanto de un ARNm no apto para que la información que contiene sea traducida y se sintetice la correspondiente molécula proteica.

En el proceso de maduración sucede lo siguiente:

- a) Un sistema enzimático, reconoce, corta y retira los intrones.
- b) Las ARNligasas unen los exones.

Se forma así el ARNm maduro. Todos estos procesos se han producido en el núcleo celular. El ARNm maduro, que a partir de ahora será simplemente el ARNm pasará al hialoplasma donde su información servirá para la síntesis de la proteína.

-EN BACTERIAS.

En las bacterias el proceso es similar, salvo que no existen exones e intrones.

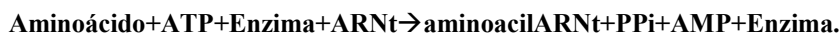
La transcripción y la traducción son simultáneas en espacio y tiempo (citoplasma)

B) TRADUCCIÓN:

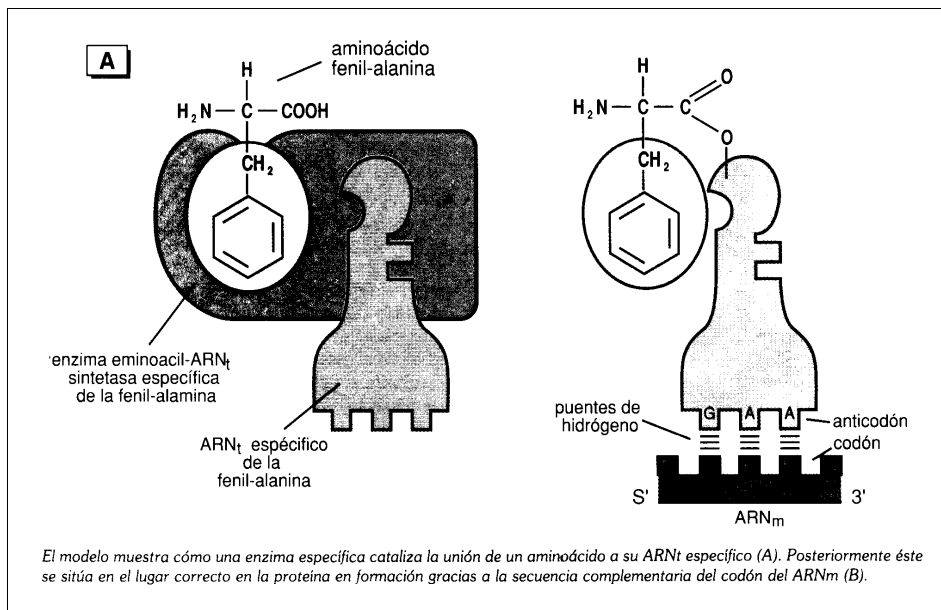
Proceso que transforma la información codificada de una secuencia lineal de nucleótidos en una secuencia lineal de aminoácidos que darán lugar a un polipeptido.

1) Activación de los aminoácidos:

La formación del enlace peptídico es un proceso endergónico, es decir requiere energía. Para que pueda realizarse, los aminoácidos deben ser activados, activación que se realiza por medio del ATP (o del GTP) uniéndose posteriormente a una molécula de ARNtransfer según la siguiente ecuación:



Los ARNt, como ya se vio, poseen en su estructura una secuencia de tres bases, el anticodon, complementaria de los correspondientes codones o tripletas del ARNm. Cada aminoácido se une, por tanto a un ARNt específico, que será aquel que lleve el anticodon correspondiente.



2) 1ª Etapa de la traducción: la iniciación de la síntesis.

- 1º) ARNm se une a la Subunidad menor ribosomal.

2º) Se suma el AminoacilARNt en un codon del ARNm

3º) Se añade la Subunidad mayor ribosomal resultando finalmente el COMPLEJO RIBOSOMAL o COMPLEJO ACTIVO.

Se necesitan enzimas y GTP

En general, el primer codon que codifica el principio de la proteína es el codon AUG. A él se une el complejo formado por ARNt Metionina.

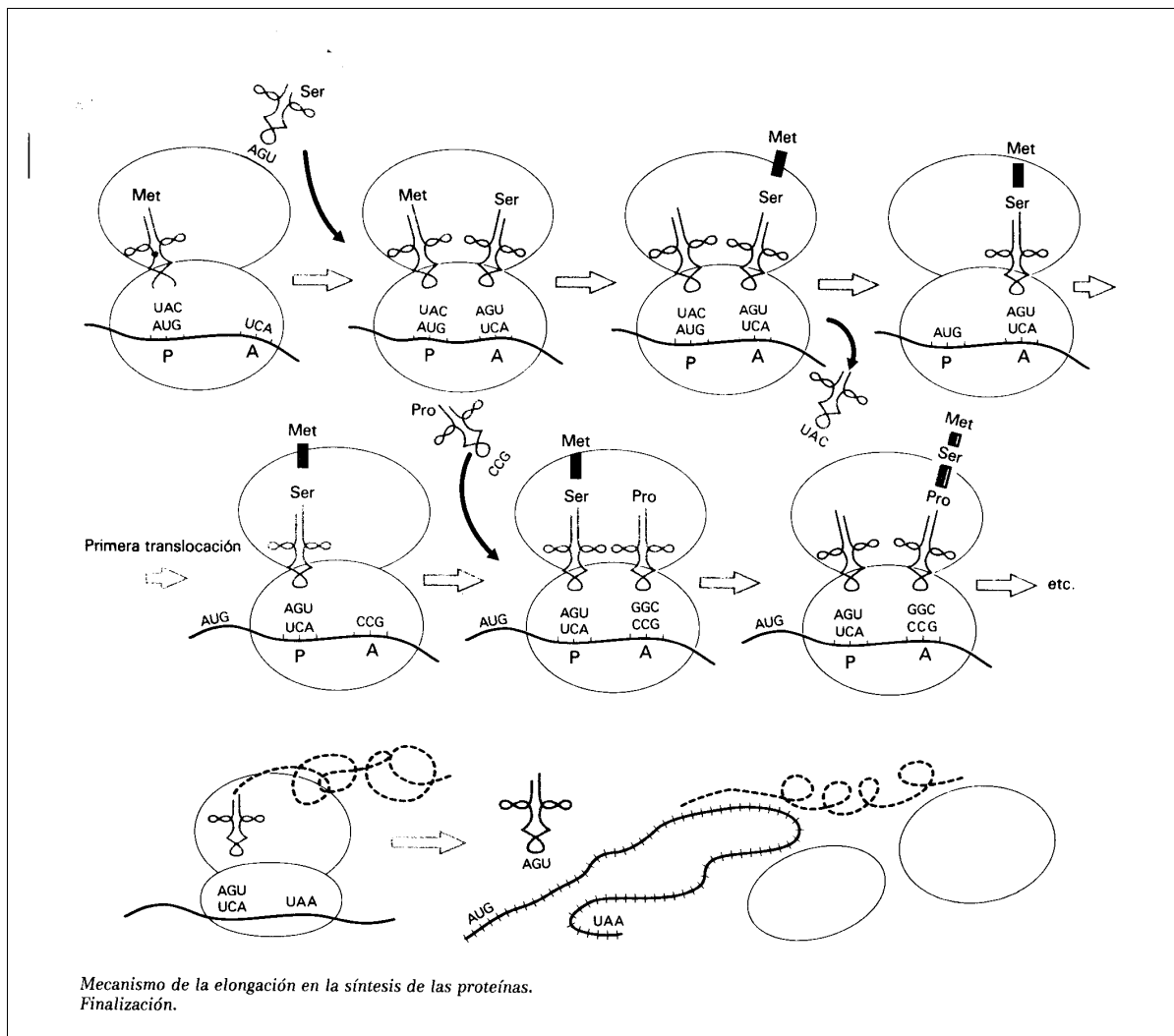
3) 2ª Etapa de la traducción: la elongación de la cadena polipeptídica.

La lectura se realiza en sentido 5'→3'

La situación inicial presenta al centro Peptidil o centro P con el primer aminoacil ARNt y al centro Aceptor o centro A con el segundo aminoacil ARNt.

Se produce la reacción formándose un enlace peptídico gracias a una enzima, quedando el dipeptidil resultante enganchado del centro A.

El ARNt sin aminoácido situado en el centro P se desprende, a continuación se produce la **traslocación ribosomal** y el dipeptidilARNt pasa a ocupar el centro P, quedando libre de nuevo el centro A, que pasa a ser ocupado por el ARNt cuyo anticodon sea complementario del triplete del ARNm. Así se van a ir añadiendo el resto de los aminoácidos que constituyen la proteína hasta llegar al codon de finalización.



4) 3ª Etapa de la Traducción: La finalización de la síntesis.

La síntesis acaba cuando aparece alguno de los tres tripletes sin sentido UAA, UAG, UGA.

Entonces la proteína se libera y las subunidades del ribosoma se disocian y se separan del ARNm.

Para que se lleve a cabo todo este proceso se necesita energía.

5) Asociación de varias cadenas polipeptídicas para construir las proteínas.

Las estructuras secundaria y terciaria aparecen a medida que se forma la cadena polipeptídica.

Es de destacar en las células eucariotas, que varios ribosomas, de 4 a 6, a veces incluso 100, pueden estar traduciendo al mismo tiempo una cadena de ARNm (POLISOMAS O POLIRRIBOSOMAS).

En definitiva, la función de los ribosomas sería la de recibir las instrucciones genéticas y traducirlas a proteínas. Para ello es necesario que se unan al ARNm, procesen la información, incorporen los aminoácidos y unan estos entre sí mediante enlaces peptídicos.

1.5 El Código genético.

El CODIGO GENETICO es la clave que relaciona la secuencia de bases del ADN o del ARN con la secuencia de aminoácidos en las proteínas.

En un ácido nucléico existen 4 nucleótidos distintos que se representan por sus bases. Las proteínas están formadas por 20 aminoácidos diferentes. ¿Cuántas bases codificarán un aminoácido?. Por cálculo de probabilidades se supo que la clave o código genético consta de 64 codones. Cada codon está formado por tres bases, y dado que los aminoácidos son 20 se observó que para cada aminoácido existen varios tripletes. También se constató la existencia de tripletes mudos.

A) CARACTERISTICAS DEL CODIGO:

- 1) Es **universal**. Es válido para todos los seres vivos.
- 2) Disposición lineal, cada tres nucleótidos corresponden a un aminoácido específico.
- 3) Existe un codon de iniciación AUG y tres de terminación UAG, UAA y UGA llamados **codones sin sentido, de paro o stop**. El codon AUG al mismo tiempo sirve para codificar el aminoácido Metionina. Por tanto todas las proteínas comienzan por la Metionina. Ahora bien, posteriormente, esta Metionina que ocupa la posición inicial puede ser eliminada.

		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 stop UAG stop	UGU] cys UGC] UGA stop UGG trp	U
	C	CUU] CUC] leu CUA] CUG]	CCU] CCC] pro CCA] CCG]	CAU] his CAC] CAA] gln CAG]	CGU] CGC] arg CGA] CGG]	U C A G
	A	AUU] AUC] ile AUA] AUG met	ACU] ACC] thr ACA] ACG]	AAU] asn AAC] AAA] lys AAG]	AGU] ser AGC] AGA] arg AGG]	U C A G
	G	GUU] GUC] val GUA] GUG]	GCU] GCC] ala GCA] GCG]	GAU] asp GAC] GAA] glu GAG]	GGU] GGC] gly GGA] GGG]	U C A G

Clave genética.

- 4) El código está **degenerado**, ya que exceptuando el Triptófano y la Metionina, existen dos o más codones para cada aminoácido. Ello es así puesto que el número de tripletes es superior al de aminoácidos existentes en las proteínas.

El descubrimiento completo del código genético se considera el mayor descubrimiento de los años sesenta.

1.6 REGULACIÓN DE LA ACCIÓN DE LOS GENES: HIPÓTESIS DEL OPERÓN

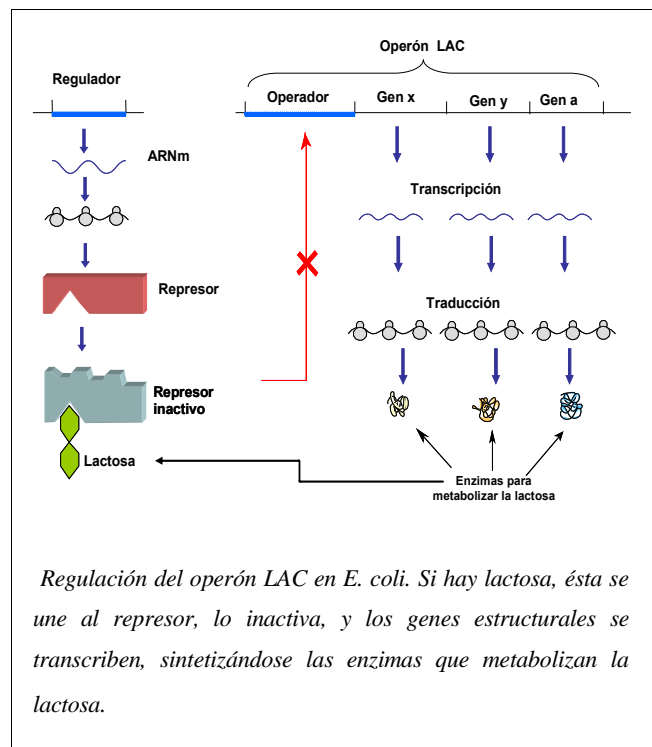
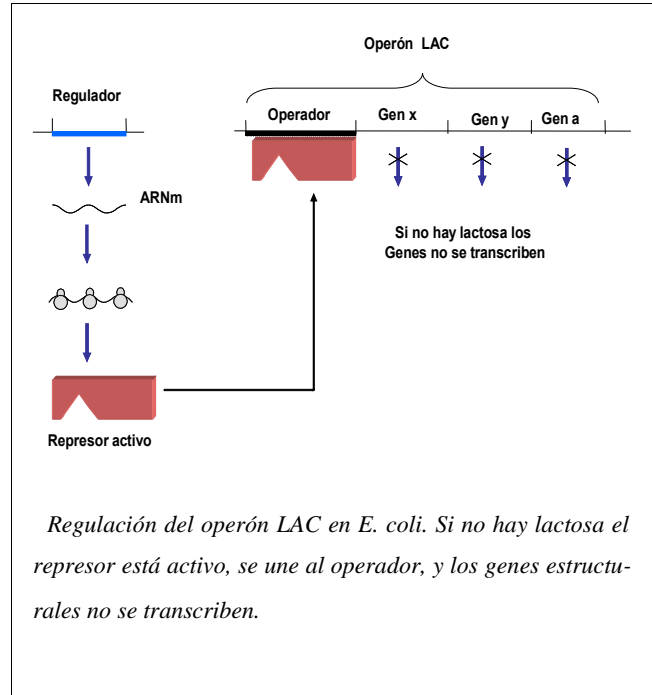
Todas las células de un organismo pluricelular, excepto los gametos, poseen la misma información genética. Ahora bien, no todos los genes se encuentran activos durante el ciclo celular. Muchos genes no actúan nunca y otros actúan sólo en determinados momentos, pudiendo permanecer durante largos periodos de tiempo inactivos. Para poder comprender el mecanismo de acción de los genes veamos a continuación estos dos modelos de regulación:

I) Regulación de la actuación del operón LAC en la bacteria *Escherichia coli*

La β -galactosidasa es una enzima que rompe el enlace O-glicosídico entre la galactosa y la glucosa en la lactosa. Si no hay lactosa en el medio, *E. coli* apenas dispone de unas pocas moléculas de enzima, una o dos solamente. Sin embargo, si añadimos lactosa al medio donde se encuentra la bacteria, al cabo de unos pocos minutos los niveles de β -galactosidasa suben hasta alcanzar las 5000 moléculas por célula, aproximadamente. Aparecen además otras dos enzimas: una permeasa que facilita la absorción de la lactosa a través de la membrana plasmática de la célula y una transacetilasa, necesaria también para el metabolismo de la lactosa.

Jacob y **Monod** interpretaron estos resultados planteando la hipótesis del operón. Según esta hipótesis la actividad de varios genes que codifican enzimas relacionadas entre sí, **genes estructurales**, sería desencadenada por la acción de un **gen operador**, contiguo a los genes estructurales en la molécula de ADN. El conjunto formado por los genes estructurales y el gen operador recibe el nombre de **operón**. Si el gen operador se encuentra libre, los genes estructurales se transcriben. A su vez, el gen operador estaría controlado por un **gen regulador**, que puede estar situado lejos del operón. Este gen va a sintetizar un ARN_m que servirá para la síntesis de una proteína: el **repressor**. Si el repressor se encuentra activo se unirá al gen operador inhibiéndolo, con lo que los genes estructurales no se transcribirán.

El operón LAC en *E. coli* constaría de tres genes estructurales que codificarían respectivamente: la β -galactosidasa (gen z), la permeasa (gen y) y la transacetilasa (gen a). Si no hay lactosa en el medio, el gen regulador se traduciría en una proteína, el repressor, con dos centros activos. Por uno de ellos sería capaz de unirse al gen operador inhibiendo la síntesis de los ARN_m codificados por los genes estructurales z, y, a. Por el otro

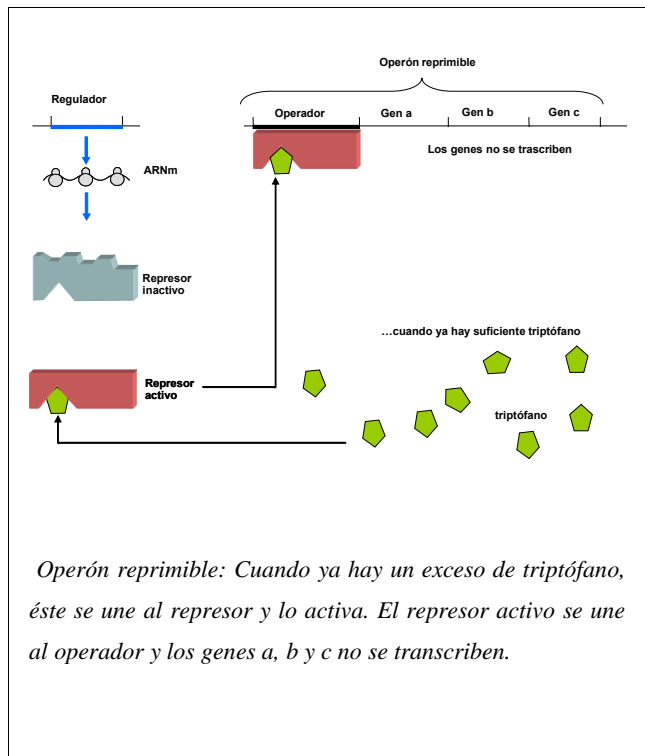
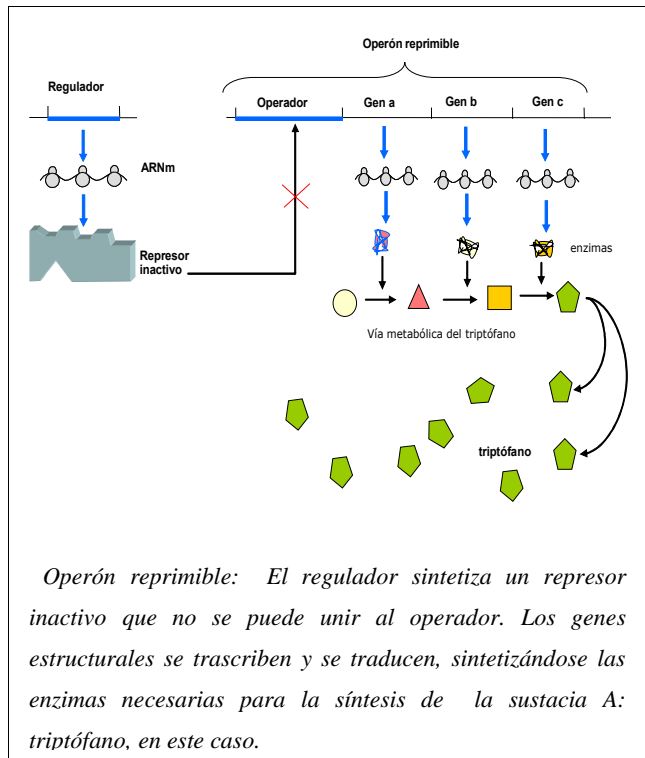


centro activo podría unirse a la lactosa cuando la hubiese. La lactosa cambiaría la estructura del represor inactivándolo e impidiendo que éste pudiese unirse al gen operador. De esta manera los genes estructurales se transcribirían produciéndose la síntesis de las tres enzimas que metabolizan la lactosa en *E. coli*.

II) Los operones reprimibles.

Como es el caso de la regulación de los genes responsables de los procesos de síntesis. Supongamos que la célula necesita producir una determinada cantidad de una sustancia A y que no interesa que haya un exceso de A ni que ésta falte. Supongamos también que para sintetizar A se necesitan tres enzimas: a, b y c. En estos casos, la proteína que actúa como represor del gen operador se encuentra normalmente en estado inactivo, permitiendo que los genes **a**, **b** y **c** se transcriban y que A se sintetice. Cuando A alcanza unos niveles elevados, se une al represor, activándolo. El represor activo se une al operador y los genes estructurales **a**, **b** y **c** no se transcriben. Esto hace descender la cantidad de A, con lo que el represor vuelve a estar inactivo, los genes estructurales vuelven a traducirse y vuelve a sintetizarse A. De esta manera la célula mantiene unas determinadas cantidades de A.

Como se ve, se trata de un mecanismo que funciona como un termostato, manteniendo unos niveles adecuados de una determinada sustancia, en este caso A, necesaria para la célula.



2 EL NÚCLEO EN DIVISIÓN

2.1 LOS CROMOSOMAS.

Son estructuras permanentes, existentes en el interior del núcleo, dotadas de una individualidad propia y del poder de autoduplicarse y de mantener sus propiedades morfológicas y fisiológicas a lo largo de divisiones celulares sucesivas.

TAMAÑO: variable, según las células, el cromosoma de que se trate, del momento funcional,... Oscila aproximadamente entre $0,2\mu50\mu$ de longitud x $0,2\mu2\mu$ de diámetro. En el hombre entre 46μ .

FORMA: 2 brazos unidos por un orgánulo esférico (Centrómero del cromosoma) formando un ángulo más o menos abierto.

Tipos : Atendiendo a la posición del centrómero, podemos clasificar los cromosomas en: **Metacéntrico** cuando el centrómero está en la mitad;

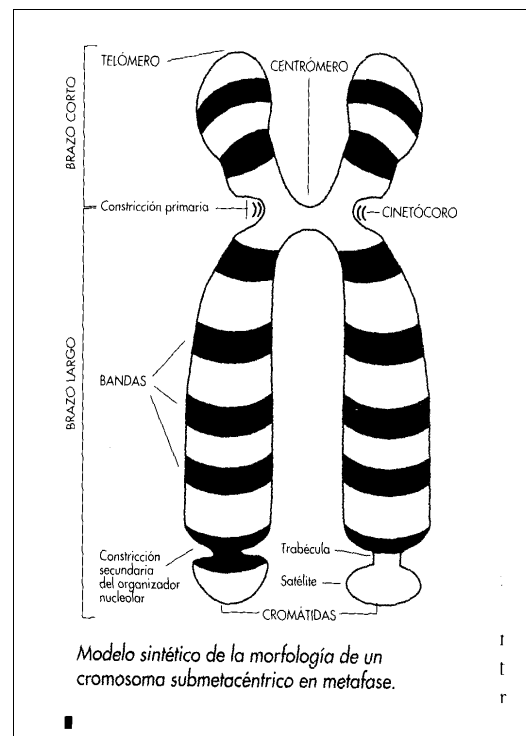
Submetacéntrico cuando el centrómero está entre el extremo y el centro; **telocéntrico**: cuando el centrómero está en el extremo.

Características morfológicas:

Cromátidas. son estructuras idénticas en morfología e información ya que contienen una molécula de ADN cada una, unidas por el centrómero. Morfológicamente se puede decir que el cromosoma es el conjunto de dos cromátidas y genéticamente cada cromátida tiene el valor de un cromosoma. A partir de una cromátida se obtendrá otra por replicación del material genético en la fase S de la interfase.

Centrómero. se encuentra en un estrechamiento llamado constricción primaria, que divide al cromosoma en brazos.

Cinetócoro. zonas a ambos lados del centrómero que durante la división celular tienen como función hacer que los microtúbulos del huso se unan a los cromosomas (es un centro organizador de microtúbulos).



Organizador nucleolar. En algunos cromosomas se encuentra la región del organizador nucleolar (**NOR**). En ella se sitúan los genes que se transcriben como ARNr, con lo que se promueve la formación del nucléolo y de los ribosomas.

Telómero. Al extremo del cromosoma se le denomina telómero.

El satélite (SAT). es el segmento del cromosoma entre el organizador nucleolar y el telómero correspondiente.

ESTRUCTURA:

La estructura es la del ADN ya estudiada con sus niveles de empaquetamiento.

Recordemos que de una manera general es la FIBRA de 300 \AA la que, plegada sobre sí misma y alrededor de un eje proteico, tras sucesivos niveles de empaquetamiento, configura el cromosoma.

FUNCIONES: Son las del ADN.

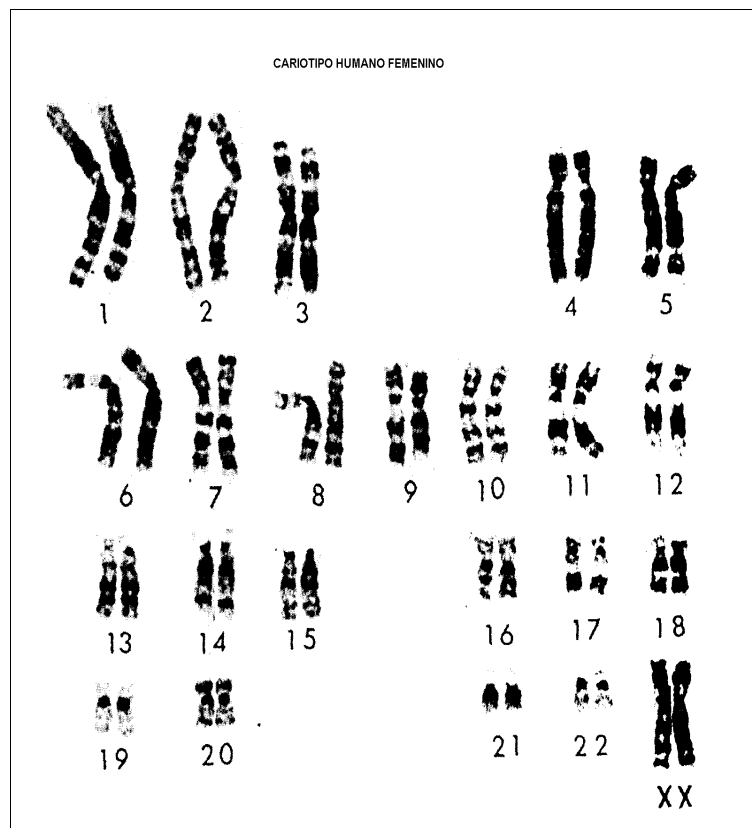
EL CARIOTIPO

Se llama **cariotipo** al número, forma y tamaño de los cromosomas de una determinada especie. El número y características de los cromosomas se mantiene constante en los individuos de una misma especie.

La representación gráfica o fotográfica de las parejas de cromosomas homólogos ordenados de mayor a menor, recibe el nombre de **idiograma**.

La mayoría de las especies de animales, plantas y hongos son diploides, es decir, sus células somáticas (células no especializadas en la reproducción sexual) poseen dos ejemplares de cada tipo de cromosomas. Las células de los seres diploides se simbolizan como células **2n**, siendo n el número de tipos diferentes de cromosomas. Estas células poseen dos juegos de cromosomas, uno heredado del padre y otro de la madre.

Solo las células reproductoras sexuales, como los gametos (óvulos y espermatozoides) y las meiosporas son células haploides, es decir, con un solo ejemplar de cada tipo de cromosomas, células **n**.



Se denominan **cromosomas homólogos** aquellos que tienen información (igual o diferente) sobre los mismos caracteres; son, pues del mismo tipo.

Los cromosomas que determinan el sexo se denominan **heterocromosomas** o **cromosomas sexuales** y se simbolizan por las letras **X** e **Y**. El resto de los cromosomas se denominan **autosomas**. Por ejemplo, las células humanas, en las que hay 46 cromosomas, se distinguen dos heterocromosomas (2 X en las mujeres y XY en los hombres) y 44 autosomas, es decir 22 parejas.

Haploidía. se dice que una célula o individuo es haploide cuando presenta un solo juego de cromosomas.

Diploidía. se dice que una célula o individuo es diploide cuando su dotación cromosómica está constituida por dos juegos de cromosomas, procedentes uno de la madre y otro del padre que forman parejas de homólogos.

2.2 EL CICLO CELULAR.

Ciclo de división de una célula:

El ciclo vital de una célula comprende el período desde que se forma hasta que se divide dando lugar a dos células hijas.

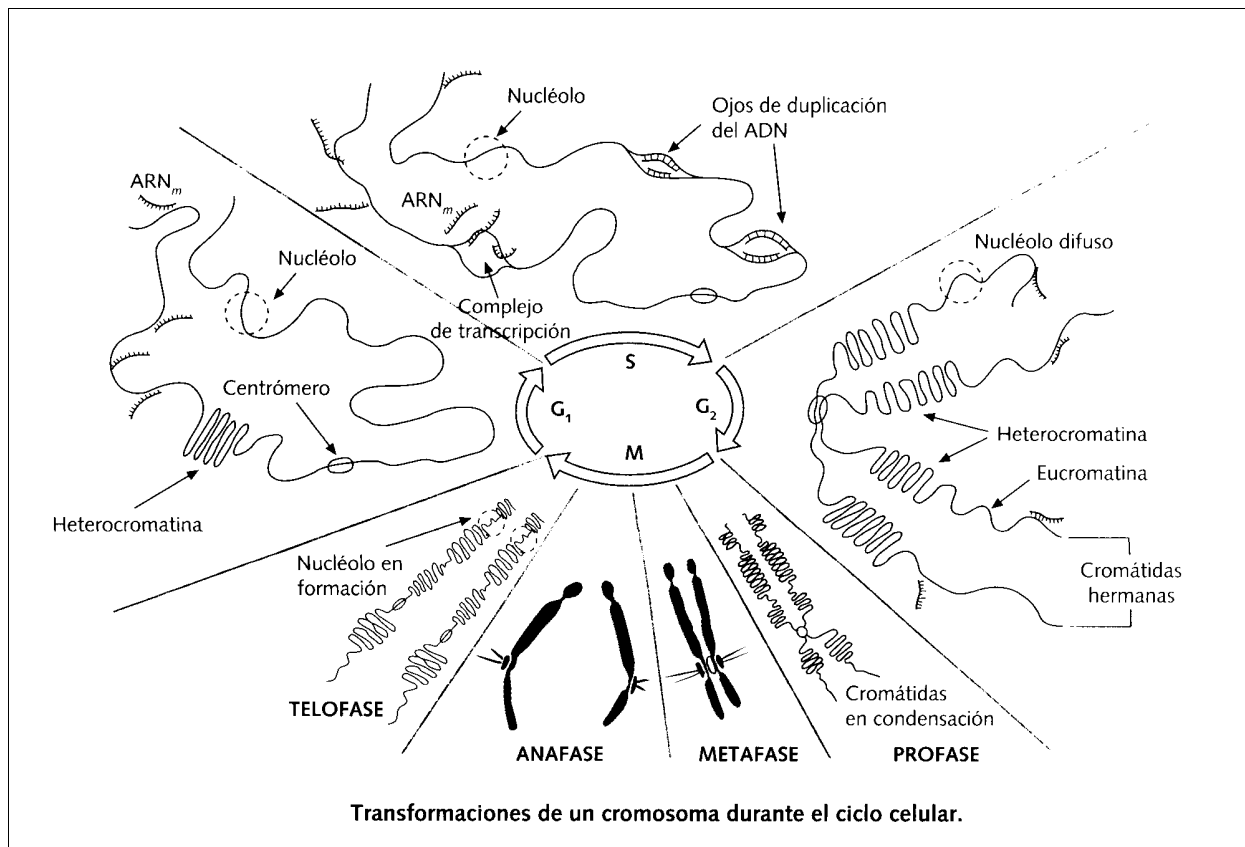
El ciclo consta de una serie de fases, G₁, S, G₂, y M mitosis o división.

G₁, S y G₂ constituyen la interfase (a la que no debería de llamarse fase o período de reposo) en la que tienen lugar la mayoría de las actividades celulares, entre ellas la síntesis de proteínas, replicación de ADN, etc.

Durante G₁ tiene lugar una gran actividad metabólica, es la fase de crecimiento inicial. La célula aumenta de tamaño, se sintetizan proteínas, se forman orgánulos citoplasmáticos (por ejemplo microtúbulos, ribosomas) y estructuras membranosas a partir del retículo que se renueva... En G₁ se sintetizan sustancias que inhiben o estimulan la fase S y el resto del ciclo, determinando si habrá de ocurrir o no la división celular.

En la fase S tiene lugar la duplicación del ADN.

En la fase G₂ se sintetizan las proteínas necesarias para la división de la célula la tubulina del huso y otras estructuras que intervienen en la separación de los cromosomas y en la citocinesis.

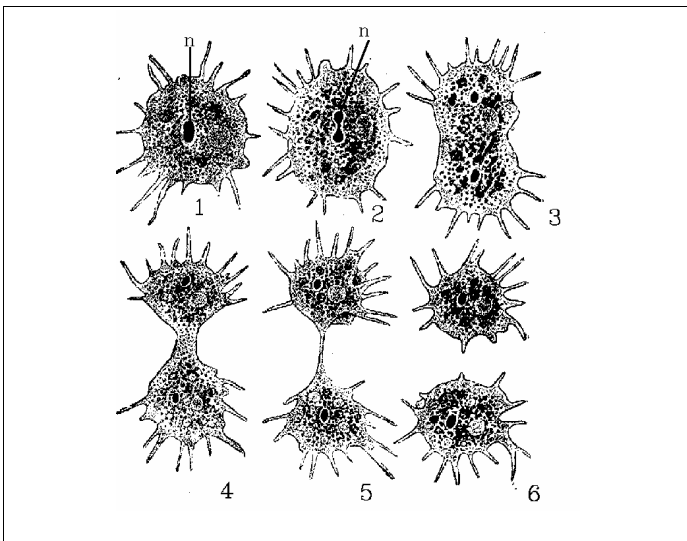


La fase M comprende la división del núcleo o cariocinesis. A partir de la fase M, la célula puede entrar de nuevo en la fase G₁ y dividirse otra vez o en la llamada G₀ en la que sufre una serie de transformaciones que conducen a la diferenciación celular. Ejemplo, las células epiteliales se dividen continuamente, las neuronas no se dividen y otros tipos celulares como los hepatocitos, si son debidamente estimulados pueden recuperar la capacidad de división y pasar de G₀ a G₁.

En cuanto al tiempo que se requiere para completar el ciclo varía según el tipo de célula y los factores que puedan influir, como la temperatura o los nutrientes disponibles. El periodo más variable del ciclo es el de G₁ en el que algunas células permanecen incluso años.

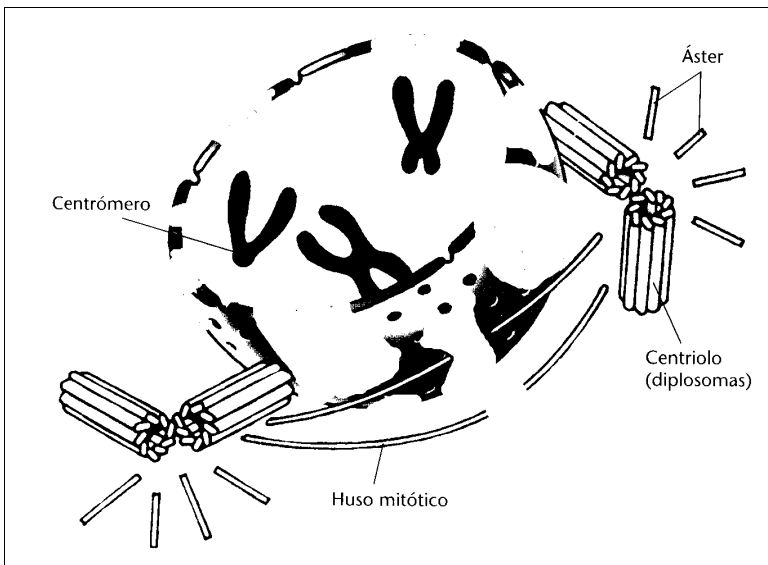
A) MITOSIS

El ciclo celular se divide en interfase y mitosis, en interfase se duplica el material genético y por medio de la mitosis



ese material se reparte por igual entre las dos células hijas. Así, a partir de una célula madre por mitosis se obtienen dos células hijas con igual dotación cromosómica que la progenitora. Este mecanismo de división se utiliza en procesos de renovación de tejidos, regeneración, crecimiento, siempre que se necesite obtener células del mismo tipo.

Dividimos la mitosis en una serie de etapas para facilitar su estudio, pero teniendo en cuenta que se trata de un proceso continuo.

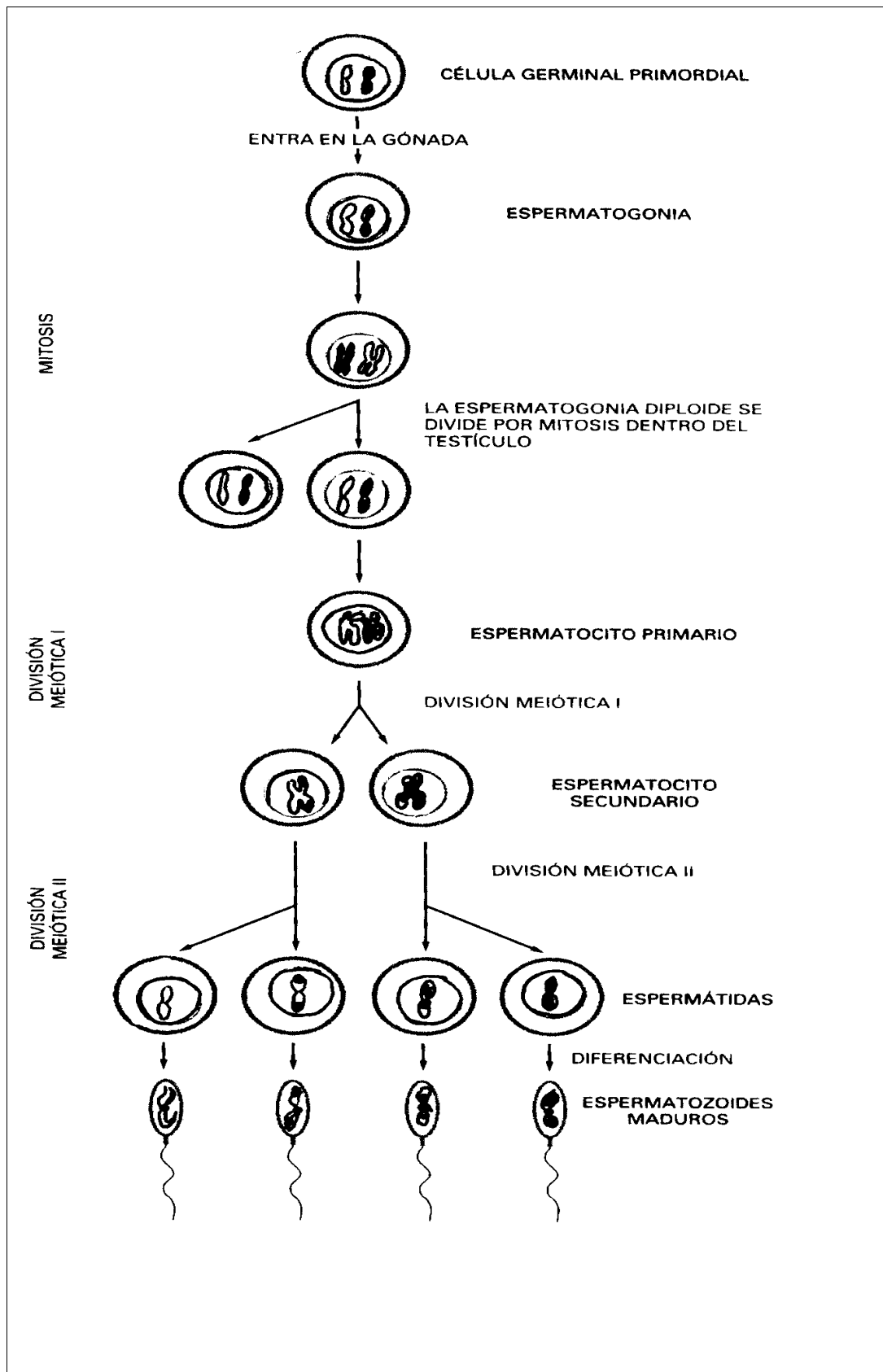


A.1 PROFASE : La membrana nuclear empieza a fragmentarse y los nucleolos van desapareciendo progresivamente. Debido a la condensación, al superenrollamiento, se van haciendo visibles los cromosomas. Puesto que hubo duplicación del material genético en interfase, cada cromosoma está formado por dos cromátidas unidas por el centromero.

Los túbulos del huso se forman a partir de las moléculas del citoesqueleto, que se

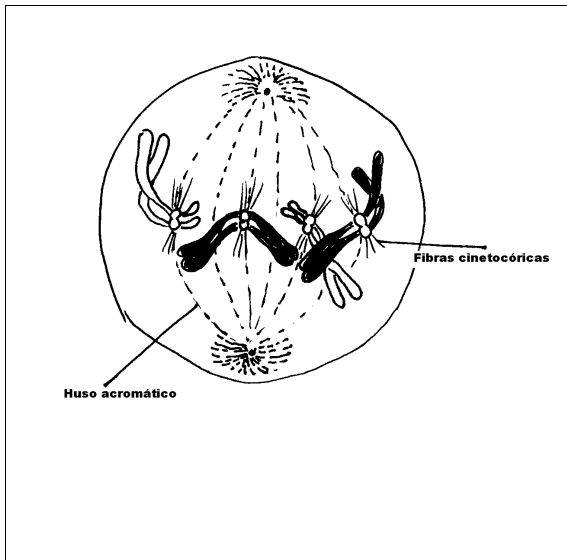
desorganiza, quedando todas las células redondeadas.

En las células animales el par de centriolos se ha dividido en interfase y ha dado lugar a dos pares de centriolos que constituirán los focos de unas ordenaciones radiales de microtubulos, los asteres. Los dos asteres que al principio



están juntos se separan, los haces de microtubulos se alargan y se forma un huso mitotico bipolar. En células sin

centriolos, como las vegetales, parece ser que esta función la desempeña el centro organizador de microtubulos. Los husos sin centriolo son anastrales, están menos centrados en los polos.



A.2 METAFASE

El huso mitótico ya está perfectamente desarrollado. Los cinetócoros de los cromosomas interaccionan por medio de unos microtúbulos con los filamentos del huso y los cromosomas son alineados en la placa ecuatorial de la célula o placa metafásica

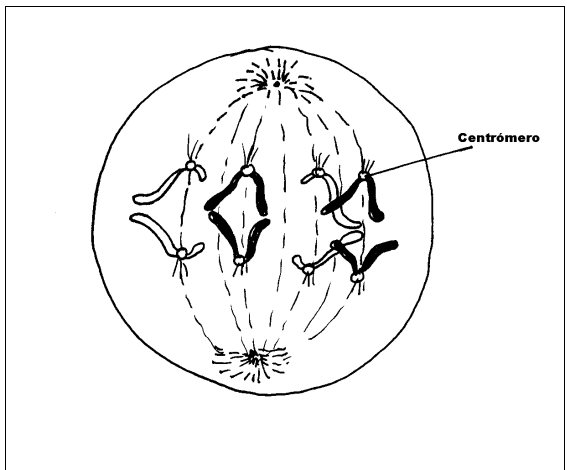
Los cromosomas se encuentran todos en la zona ecuatorial, orientados perpendicularmente a los microtúbulos que forman el huso acromático constituyendo la denominada PLACA ECUATORIAL.

A.3 ANAFASE.

Se separan los cinetócoros de cada cromosoma y cada cromátida es arrastrada hacia un polo. El movimiento puede ser que se produzca por desensamblaje de los microtúbulos. Al desplazarse cada cromátida, sus brazos se retrasan formando estructuras en V con los vértices dirigidos hacia los polos.

A.4 TELOFASE.

Los cromosomas hijos ya han llegado a los polos, los microtúbulos cinetocóricos desaparecen. Los microtúbulos polares se alargan aún más y se vuelve a formar una envoltura nuclear a partir del retículo endoplasmático. La cromatina condensada se expande de nuevo, los nucleolos empiezan a reaparecer. La mitosis ha llegado a su fin.

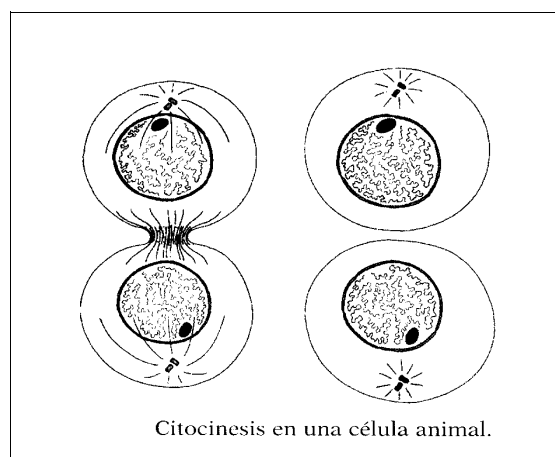


condensada se expande de nuevo, los nucleolos empiezan a reaparecer. La mitosis ha llegado a su fin.

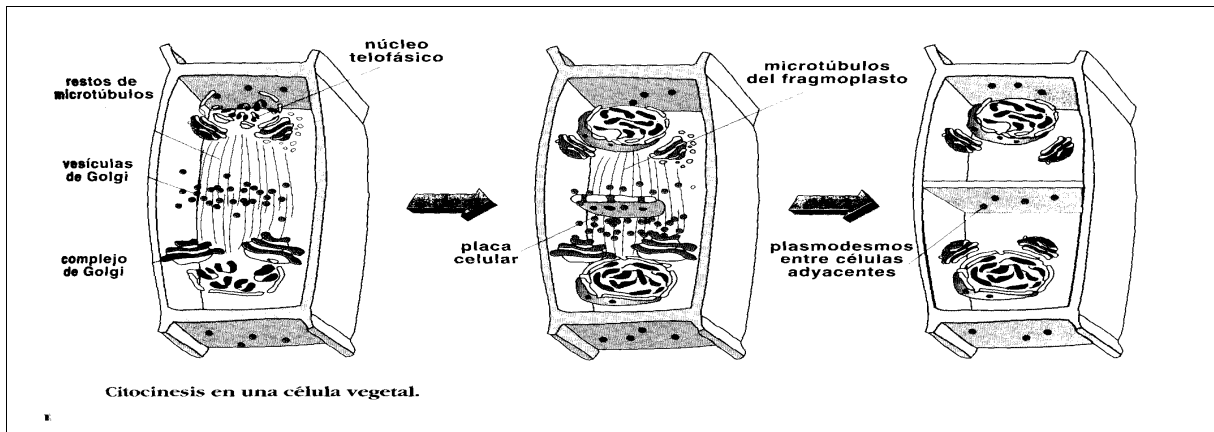
B) CITOCINESIS: división del citoplasma.

En animales se forma un anillo contráctil compuesto por filamentos de actina y miosina formándose un anillo de segmentación. La división es por estrangulación.

En los vegetales se forma un tabique, el fragmoplasto, a partir de vesículas del aparato de Golgi, retículo endoplasmático... que contienen los presurroses de la pared primaria. La división es por tabicación, quedando restos de comunicación entre las células.



Citocinesis en una célula animal.



2.3 MEIOSIS.

La meiosis es un proceso de división que supone reducción cromosómica. A partir de una célula diploide ($2n$), que posee, por tanto, dos dotaciones cromosómicas (es decir, parejas de cromosomas), se obtienen cuatro células hijas, cada una de ellas con una sola dotación cromosómica (n). Así pues durante la meiosis, que también recibe el nombre de división reduccional, las parejas de cromosomas homólogos se separan, permaneciendo en cada una de las cuatro nuevas células solamente uno de los ejemplares de cada pareja.

La meiosis tiene una importancia biológica fundamental en los organismos que se reproducen sexualmente. Recuerda que en la reproducción sexual, dos células, los gametos haploides, se unen para dar lugar a una célula huevo o cigoto. Este proceso requiere que en algún momento de la vida del organismo se produzca en determinadas células la división reduccional, se formen células con la mitad del número de cromosomas y de esta manera se mantenga la constancia numérica de los cromosomas.

Además, en este proceso se produce variación genética debido a la distribución al azar de los homólogos y al sobrecruzamiento cuya consecuencia es la recombinación.

La meiosis esta precedida de una interfase en la que se produce la duplicación del ADN.

Dividimos la meiosis, para su estudio, en las siguientes fases:

División I:

Profase I (Leptoteno, Zigoteno, Paquiteno, Diploteno, Diacinesis)

Metafase I

Anafase I

Telofase I

División II:

Profase II

Metafase II

Anafase II

Telofase II

Entre la División I y la División II no se produce duplicación del ADN.

DIVISIÓN I

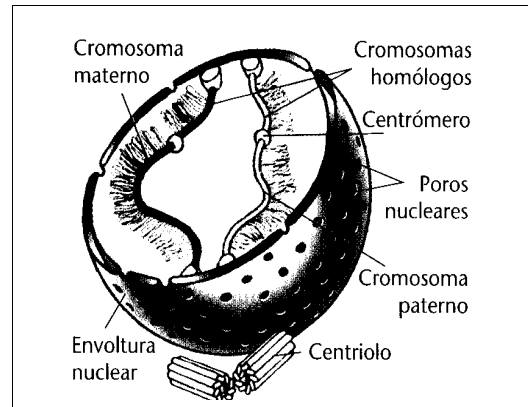
A.1) PROFASE I

En esta fase suceden los acontecimientos más característicos de la meiosis. La envoltura nuclear se conserva hasta el final de la fase que es cuando se desintegra, al mismo tiempo desaparece el nucleolo y se forma el huso.

La Profase se subdivide en 4 etapas:LEPTOTENO, ZIGOTENO, PAQUITENO, DIPLOTENO, DIACINESIS

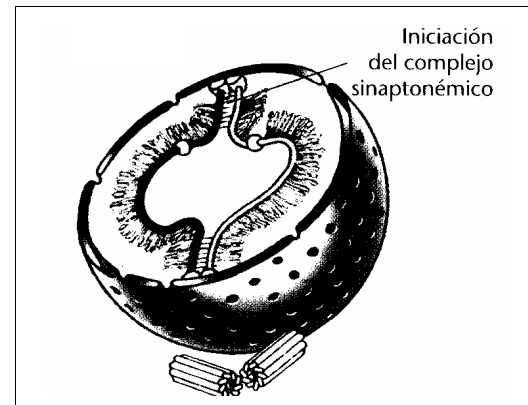
LEPTOTENO

En ella los cromosomas que se encuentran unidos por sus extremos a la membrana nuclear por medio de una estructura llamada placa de unión. Aunque cada cromosoma esta formado por dos cromatidas hermanas, estas se encuentran tan estrechamente unidas que no serán visibles hasta el final de la profase.



ZIGOTENO:

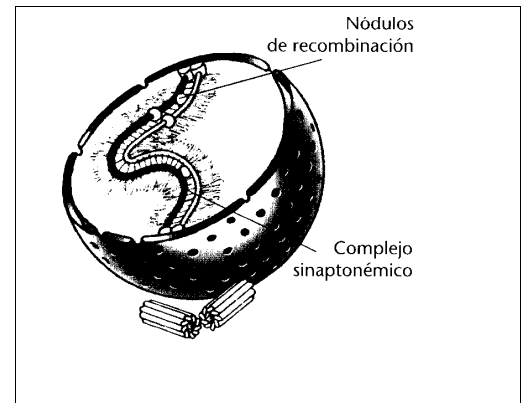
Comienza con el apareamiento entre cromosomas homólogos, que puede comenzar en los extremos, a nivel de la envoltura nuclear, y continuar hacia el interior a modo de cremallera; en otros casos, puede empezar en zonas interiores y avanzar hacia los extremos. Cuando homólogos se aparean cada gen queda yuxtapuesto a su homologo.



Cada par cromosómico recibe el nombre de bivalente.

PAQUITENO

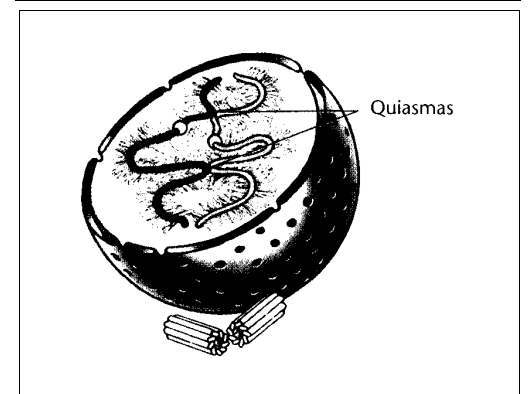
En esta fase ocurren los sobrecruzamientos entre cromatidas no hermanas, es decir, se intercambian fragmentos entre homólogos apareados. Como consecuencia del entrecruzamiento se produce la recombinación génica que es fuente de variabilidad genética. Los sobrecruzamientos no son visibles en esta fase. Se apreciarán mas tarde en forma de quiasmas.



DIPLOTENO

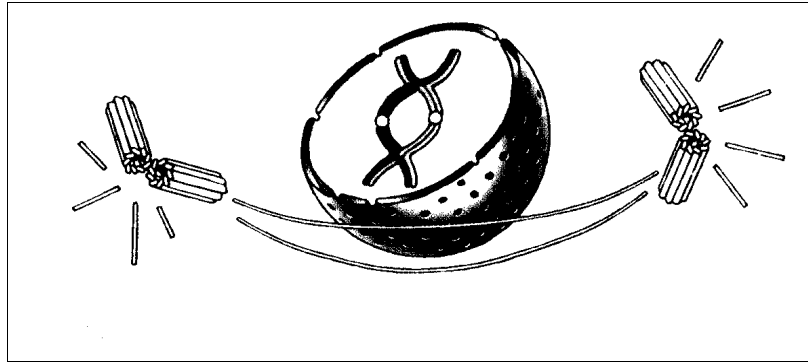
A continuación, los homólogos se van separando, aunque permanecen unidos en los quiasmas, reflejo de los lugares donde hubo sobrecruzamiento.

El quiasma es la manifestación citológica del sobrecruzamiento; la recombinación es la consecuencia genética del sobrecruzamiento.



DIACINESIS

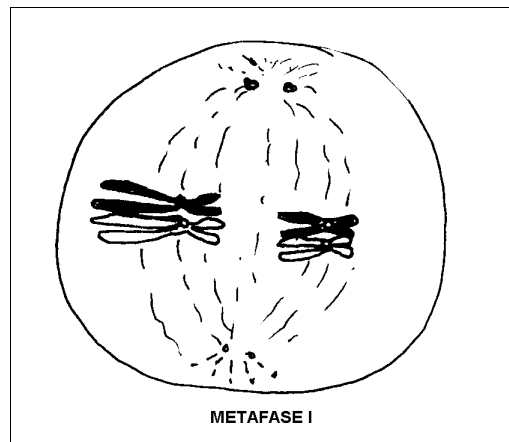
En este momento cesa la síntesis de ARN, los cromosomas se separan de la envoltura nuclear y se aprecian claramente las cromátidas. Se observa que cada bivalente está formado por 4 cromátidas; cada par de cromátidas hermanas están unidas por el centromero. Las cromátidas no hermanas que han entrecruzado están unidas por los quiasmas.



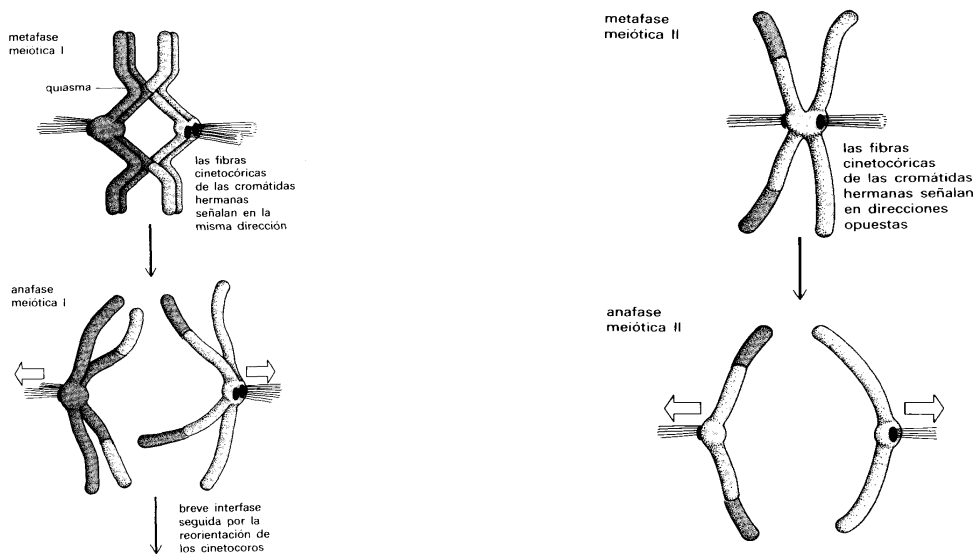
La Profase acaba al desaparecer la membrana nuclear y terminar de formarse el huso.

A.2) METAFASE I

Los homólogos se unen al huso, cada bivalente se dispone de forma que sus centrómeros estén situados a ambos lados del plano ecuatorial. Las fibras cinetocóricas de cada centrómero se orientan hacia el mismo polo de la célula -**coorientación**-. Así, los homólogos irán a polos distintos.



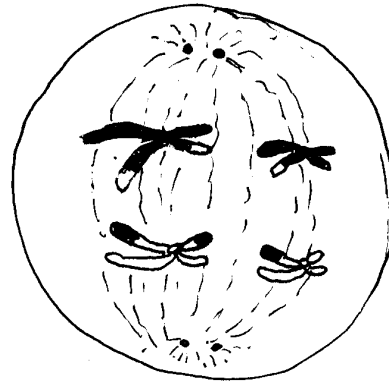
La diferencia típica con la metafase mitótica radica en el apareamiento de los cromosomas homólogos que en aquella no existe.



A.3) ANAFASE I

Se produce la rotura de los quiasmas, los homólogos de cada par se separan y se desplazan a polos opuestos.

La distribución al azar de los homólogos es una fuente de variabilidad ya que podrían producirse 2ⁿ gametos distintos, siendo n el número haploide.

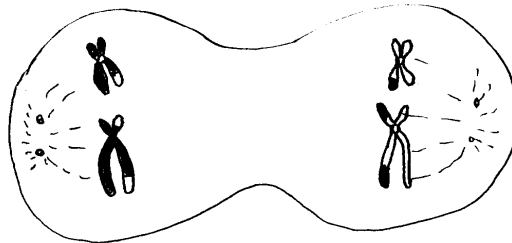


ANAFASE I

A.4) TELOFASE I

Los cromosomas ya han llegado a los polos, se regenera la envoltura nuclear y desaparecen las fibras del huso. Los cromosomas experimentan una ligera descondensación y por lo general tiene lugar la citocinesis.

Hay que indicar que en la mayoría de los casos esta fase no existe o es muy breve.

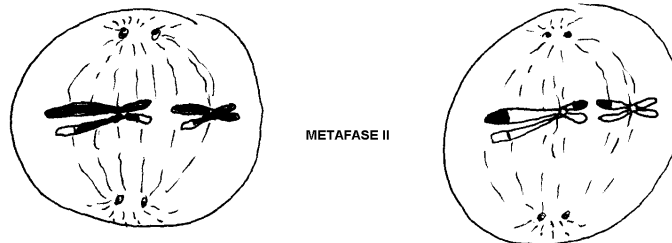


TELOFASE I

B) DIVISION II

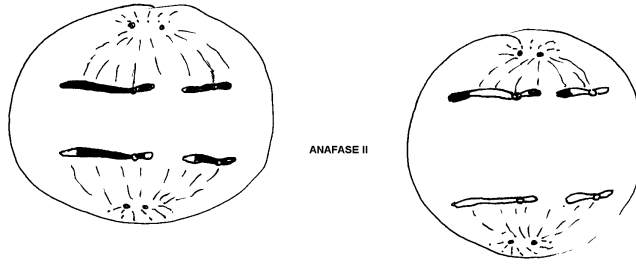
En la **Profase II** desaparecen las membranas nucleares (si las hay) y se forman dos nuevos husos.

En **Metafase II** los n cromosomas (con dos cromatidas cada uno) se disponen en la placa ecuatorial.

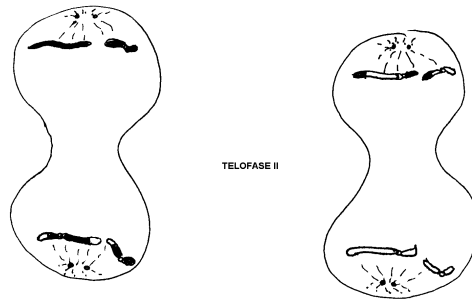


METAFASE II

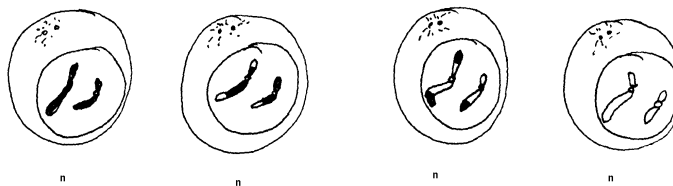
En la **Anafase II** las cromátidas se separan y cada una emigra a un polo distinto.



En **Telofase II** una vez que las cromátidas (n cromátidas) han llegado a los polos, desaparecen los husos, se forman las envolturas nucleares y se produce la citocinesis (similar a la que ocurre en la Mitosis).

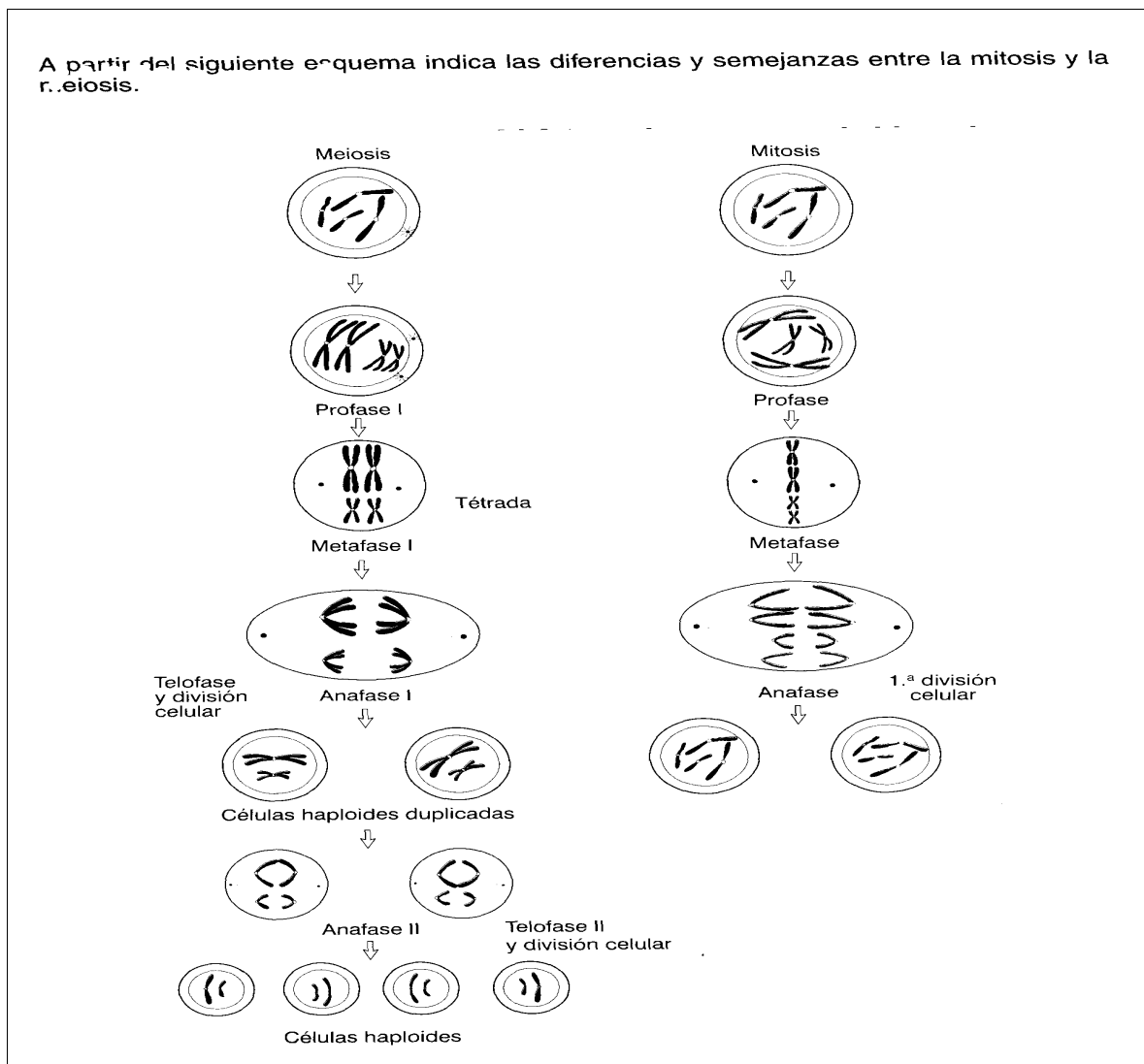


Al final del proceso meiotico, se habrán obtenido cuatro células haploides y además se ha producido intercambio de material cromosómico.



SIGNIFICADOS A NIVEL GENETICO, CELULAR Y DE ORGANISMO DE LA MITOSIS Y DE LA MEIOSIS.

MITOSIS	MEIOSIS
A nivel genético.	
Reparto exacto del material genético	Segregación al azar de los cromosomas homólogos y sobrecruzamiento como fuente de variabilidad genética.
A nivel celular.	
Como consecuencia de lo anterior se forman células genéticamente iguales.	Reducción del juego de cromosomas a la mitad exacta de los cromosomas homólogos
A nivel de organismo.	
Se da este tipo de división en organismos unicelulares con reproducción asexual y en pluricelulares para el desarrollo, crecimiento y reparación de tejidos.	En la aparición de las células sexuales. Formación de los gametos para que sea posible la fecundación y el origen de un nuevo ser.



2.4 CONCEPTO DE REPRODUCCIÓN:

Procreación de nuevos individuos a partir de los existentes.

Perpetuación de la especie.

Tipos: Asexual y Sexual.

A. Diferencias formales y genéticas entre reproducción asexual y reproducción sexual:

1. Diferencias formales:

La reproducción **asexual** se lleva a cabo a partir de células somáticas.

En la reproducción **sexual** intervienen células germinales especializadas, los gametos.

2. Diferencias genéticas:

Reproducción **asexual**: No produce variabilidad genética al existir sólo mitosis.

Reproducción **sexual**: Produce variabilidad genética mediante la recombinación genética en la meiosis y mediante la fecundación.

B.- REPRODUCCION SEXUAL.

En la reproducción sexual intervienen gametos.

Produce variabilidad genética mediante la recombinación genética en la meiosis y mediante la fecundación.

Procesos de la reproducción sexual:

1. **Gametogénesis:** formación de gametos.

Seres unicelulares: toda la célula es gameto.

Seres pluricelulares: Se forman estos gametos en órganos especializados:

En las plantas los **gametangios**:

anteridios masculinos en ellos van a formarse los anterozoides y *arquegonios* femeninos que darán lugar a las oosferas.

En los animales son las **gónadas**:

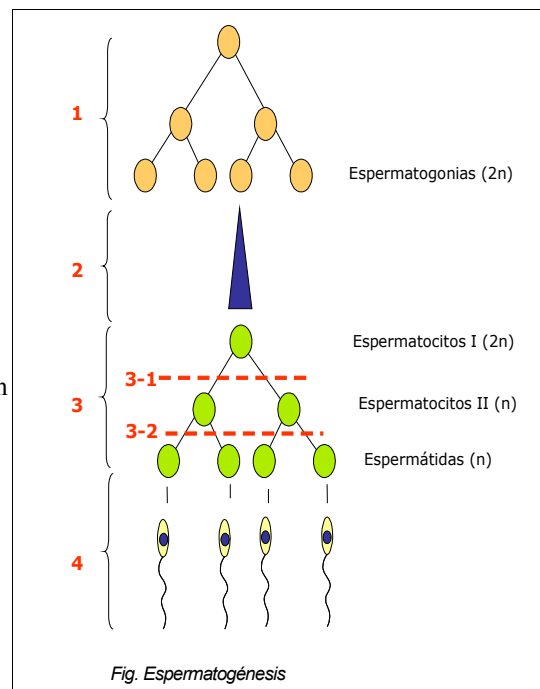
testículos masculinos donde se forman los espermatozoides y

ovarios femeninos donde se forman los óvulos.

B.1. ETAPAS DE LA ESPERMATOGÉNESIS Y DE LA OVOGÉNESIS EN LOS METAZOOS.

ESPERMATOGENESIS: Formación de los espermatozoides en los testículos de los machos.

- 1) **Proliferación o multiplicación:** Las células madres germinales ($2n$) se multiplican por mitosis formando **espermatogonias** ($2n$).
- 2) **Crecimiento:** las espermatogonias por crecimiento dan **espermatoцитos de 1º orden** ($2n$).
- 3) **Maduración (Meiosis):** el espermatoцитo de 1º orden por división reduccional (1^a división meiótica) da 2 **espermatoцитos de 2º orden** (n) que al sufrir la 2^a división meiótica dan en total 4 **espermátidas** (n).
- 4) **Espermiogénesis:** espermatidas por diferenciación dan **espermatozoides**.



OVOGENESIS: Formación de los óvulos en los ovarios de las hembras.

1) **Proliferación o multiplicación:** Las células madres germinales (2n) se multiplican por mitosis dando ovogonias (2n).

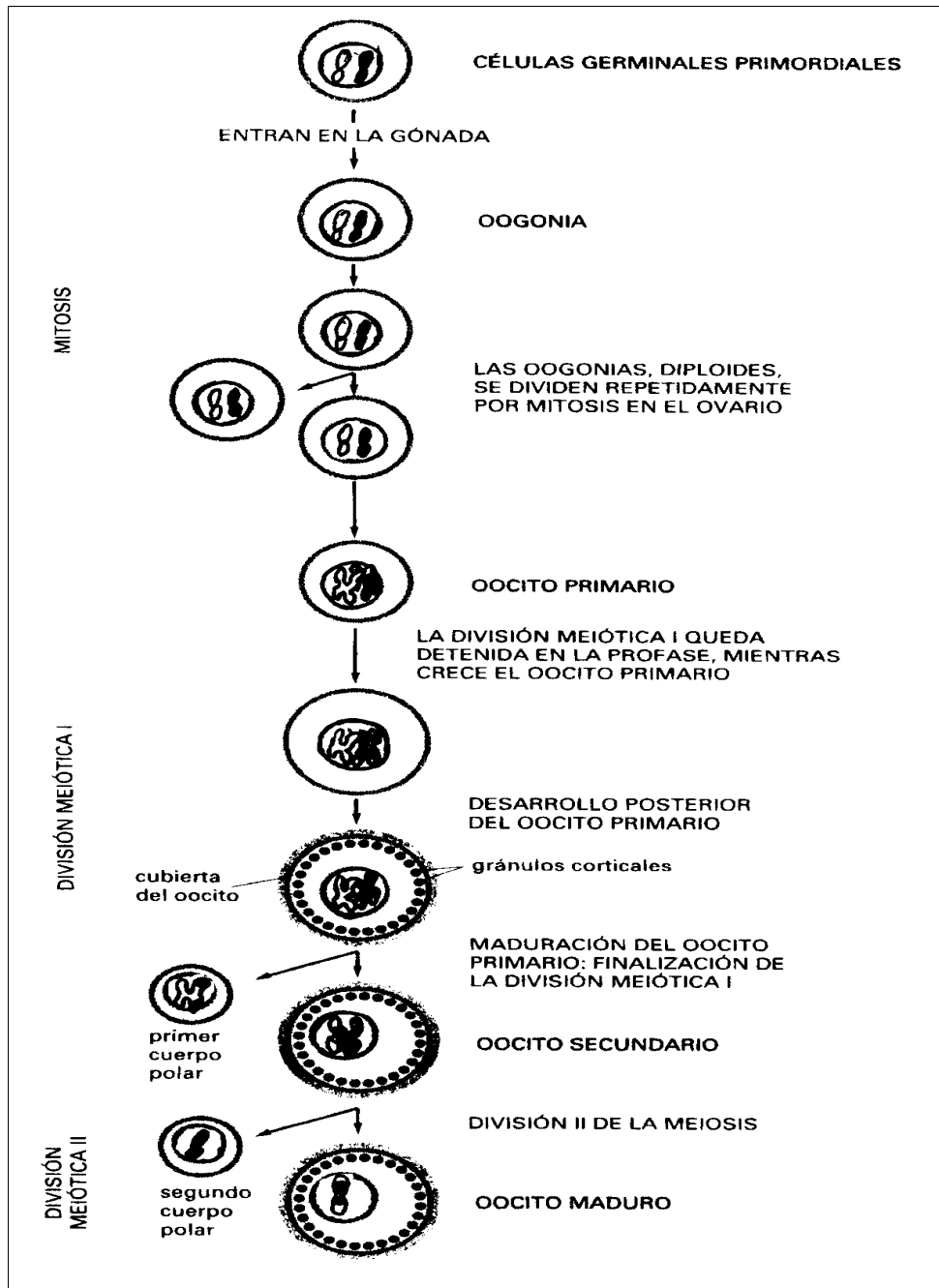
2) **Crecimiento:** las ovogonias por crecimiento dan **ovocitos de 1^{er} orden** (2n).

3) **Maduración (Meiosis):** el ovocito de 1^{er} orden por división reduccional (1^a división meiótica) da 1 **ovocito de 2º orden** (n) y el 1^{er} **corpúsculo polar**.

El ovocito de 2º orden (n) por 2ª división meiótica da 1 **ovotida** (n) y el 2º corpúsculo polar (n).

El 1^{er} corpúsculo polar (n) por 2ª división meiótica da dos corpúsculos polares (n).

4) **Diferenciación:** La ovotida se transforma en el **ovulo**. Mientras que los corpúsculos polares degeneran.



2. **FECUNDACIÓN:** Fusión de gametos produce el cigoto.

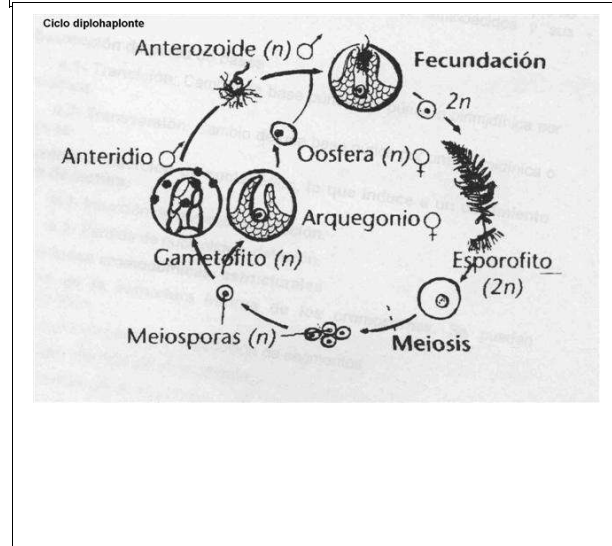
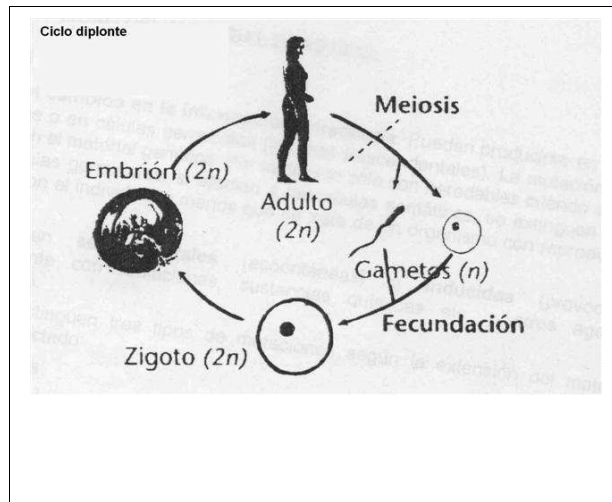
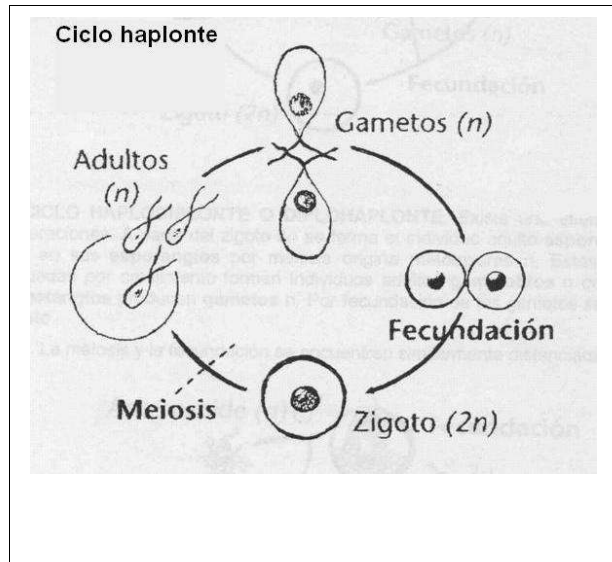
3. **DESARROLLO DEL ZIGOTO:** Desarrollo embrionario, en metazoos: Segmentación, Gastrulación, Organogénesis; en plantas: germinación del cigoto.

C.-CICLOS BIOLÓGICOS. Según el momento en que se produce la meiosis, se diferencian tres tipos de ciclos biológicos:

1. **CICLO HAPLONTE:** La meiosis se produce en el cigoto ($2n$) originándose 4 células haploides que se desarrollan en individuos adultos (n). Por mitosis producen gametos n . Ej. Moneras, muchas algas y hongos. La meiosis sigue inmediatamente a la fecundación.

2. **CICLO DIPLONTE:** En un adulto $2n$ la meiosis se produce en la gametogénesis originándose gametos n que por fecundación forman el cigoto $2n$ que da lugar al adulto. Ej. la mayoría de los metazoos, muchos protozoos, algunos hongos y algas. La fecundación sigue inmediatamente a la meiosis.

3. **CICLO HAPLODIPLONTE O DIPLOHAPLONTE:** Existe una alternancia de generaciones. A partir del cigoto $2n$ se forma el individuo adulto **esporofito** ($2n$), que en sus **esporangios** por meiosis origina **meiosporas** n . Estas que son sexuadas por crecimiento forman individuos adultos **gametofitos** n que en sus **gametangios** producen **gametos** n . Por fecundación de los gametos se forma el **cigoto**. Hay individuos $2n$ e individuos n . La meiosis y la fecundación se encuentran distanciadas.



3 MUTABILIDAD DEL MATERIAL GENÉTICO:

3.1 MUTACIONES

Son cambios en la información hereditaria. Pueden producirse en células somáticas o en células germinales (los más trascendentales). La mutación es un cambio en el material genético. Por tanto sólo son heredables cuando afectan a las células germinales; si afectan a las células somáticas, se extinguen por lo general con el individuo, a menos que se trate de un organismo con reproducción asexual.

Pueden ser: **naturales** (espontáneas) o **inducidas** (provocadas artificialmente con radiaciones, sustancias químicas etc. y otros agentes mutágenos).

Se distinguen tres tipos de mutaciones según la extensión del material genético afectado:

- 1- Génicas
- 2- Cromosómicas estructurales
- 3- Cromosómicas numéricas o genómicas

1) Mutaciones génicas: alteraciones en la secuencia de los nucleótidos de un gen. Las sustituciones provocan la alteración de un único triplete y, por tanto, salvo que indiquen un triplete de parada, o un aminoácido del centro activo de una enzima, pueden no ser perjudiciales. Sin embargo, las mutaciones que impliquen corrimiento del orden de lectura, adiciones o deleciones, salvo que se compensen entre si pueden alterar una secuencia de aminoácidos y sus consecuencias suelen ser graves.

Existen varios tipos:

a) Sustitución de pares de bases

a.1 Transición: Cambio de base púrica por púrica o pirimidínica por pirimidínica.

a.2 Transversión: Cambio de una base púrica por una pirimidínica o viceversa .

b) Perdida o inserción de nucleótidos, lo que induce a un corrimiento en el orden de lectura.

b.1 Inserción de nucleótidos: adición.

b.2 Pérdida de nucleótidos: deleción.

2) Mutaciones cromosómicas estructurales

Cambios en la estructura interna de los cromosomas. Se pueden agrupar en dos tipos:

Las que suponen pérdida o duplicación de segmentos

a) Deleción: Pérdida de un segmento;

b) Duplicación de un segmento;

Las que suponen variaciones en la distribución de los segmentos de los cromosomas

c) Inversión de un segmento;

d) Translocación de un segmento.

Origen de las mutaciones cromosómicas estructurales

Todos los cambios estructurales que se producen en los cromosomas pueden explicarse por la rotura y reunión de sus fragmentos.

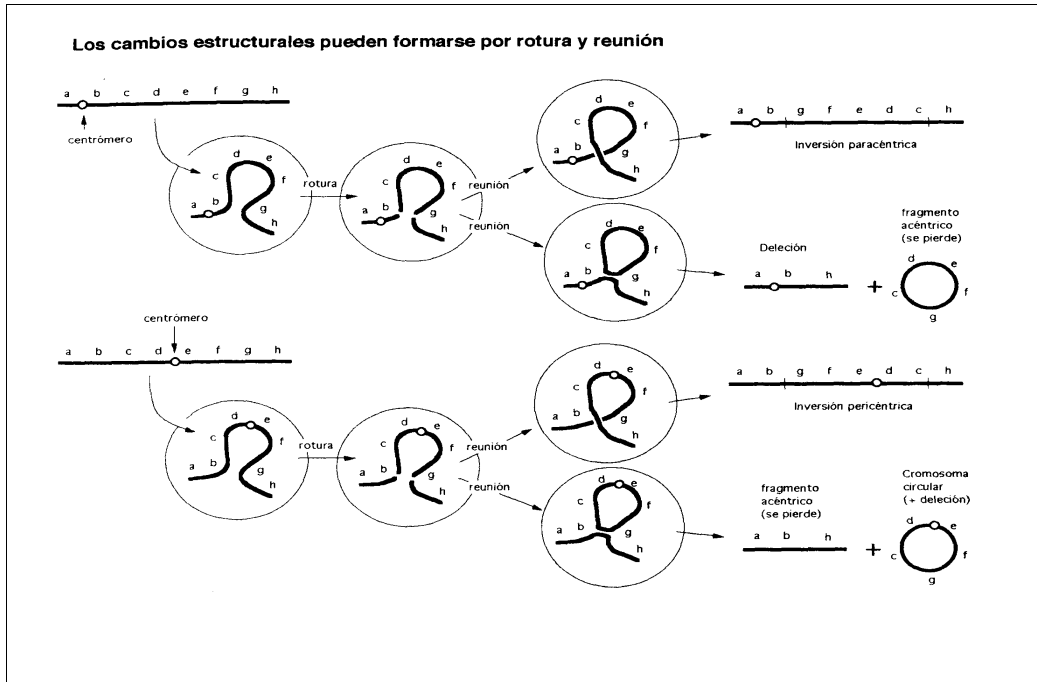
Podemos considerar 4 casos posibles, los dos primeros se refieren a un solo cromosoma y los dos últimos a parejas de cromosomas

Las roturas están en el mismo brazo cromosómico

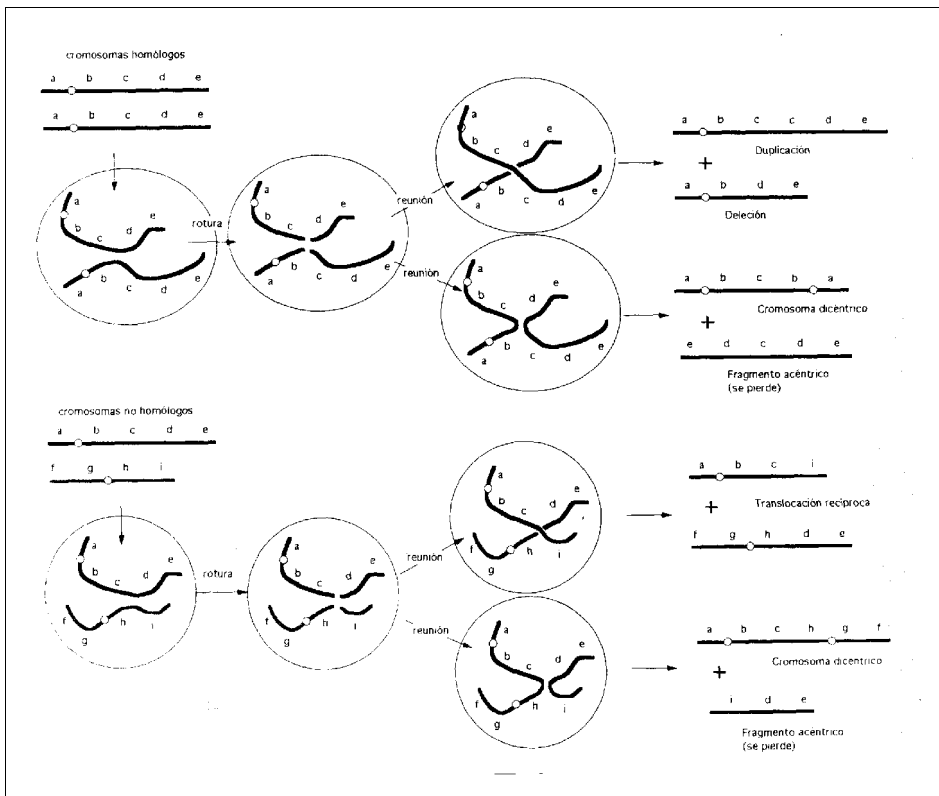
1^{er} caso. afecta a un solo cromosoma. Al producirse la rotura los fragmentos pueden reunirse de dos formas distintas, una da lugar a una inversión paracéntrica y otra a una deleción más un fragmento acéntrico que se pierde

Las roturas están en distinto brazo cromosómico

2º caso. afecta a un cromosoma. La reunión de los fragmentos después de la rotura puede dar lugar también a dos formas distintas, una produce una inversión pericéntrica y otra produce un fragmento acéntrico que se pierde y un cromosoma circular (delección).



3º caso. afecta a dos cromosomas homólogos simultáneamente. Después de la rotura la reunión de los fragmentos produce los siguientes resultados: o una duplicación más una delección o un cromosoma dicéntrico, en el que se aprecia una duplicación y una delección simultáneamente más un fragmento acéntrico que se pierde.



4º caso. afecta a dos cromosomas no homólogos. Después de la rotura se producen dos posibles reuniones de los fragmentos: la primera da lugar a otros dos cromosomas con fragmentos intercambiados en los que se ha producido una traslocación recíproca y la segunda da lugar a un cromosoma dicéntrico que es inestable más un fragmento acéntrico inviable. Se ha producido en conjunto una deleción.

Efecto fenotípico de las mutaciones cromosómicas estructurales. Las deleciones y duplicaciones producen un cambio en la cantidad de genes y por tanto tienen efectos fenotípicos, por lo general deletéreos. Sin embargo las inversiones y traslocaciones no suelen tener efecto fenotípico, aunque de las traslocaciones pueden derivarse problemas de fertilidad por apareamiento defectuoso de los cromosomas durante la gametogénesis o la aparición de descendientes con anomalías.

Importancia evolutiva de las mutaciones cromosómicas estructurales. La deleción apenas tiene importancia evolutiva, mientras que la duplicación en cambio posee una importancia evolutiva grande. A su vez las inversiones y traslocaciones están también asociadas de una forma importante a la evolución, por ejemplo la fusión de dos cromosomas acrocéntricos puede dar lugar a uno metacéntrico, como ha ocurrido con el cromosoma 2 de la especie humana, que es el resultado de la fusión de dos cromosomas de un mono antepasado antropomorfo. Distintos genes de hemofilia evolutivamente se han adquirido por duplicación

3) Mutaciones cromosómicas numéricas

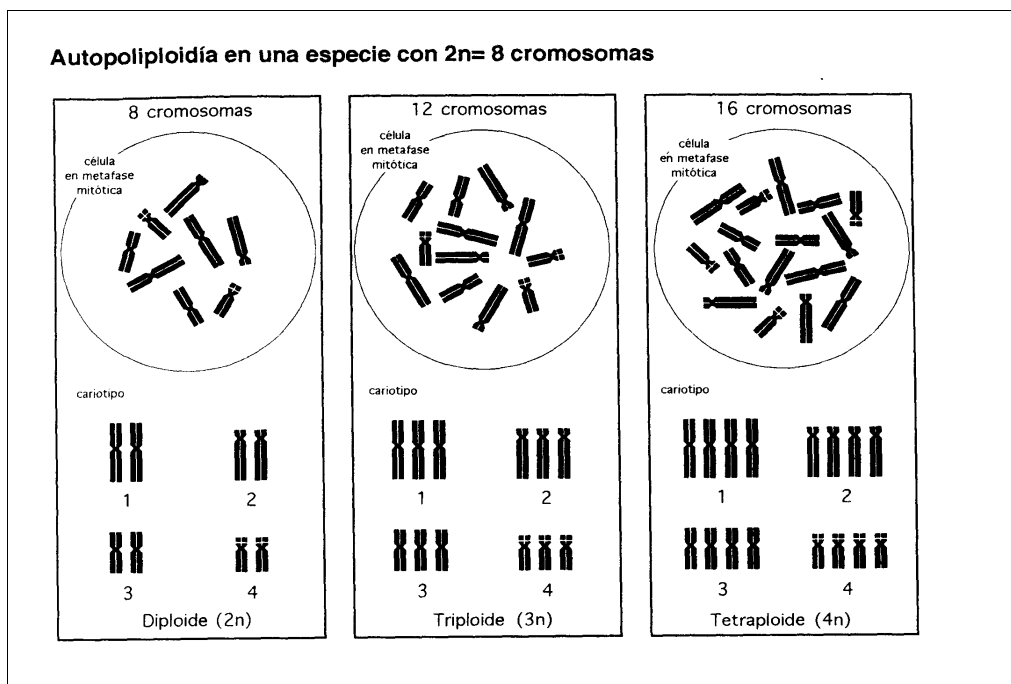
Son alteraciones en el número de los cromosomas propios de la especie.

a) Euploidía: cuando afecta al número de juegos completos de cromosomas con relación al número normal de cromosomas de la especie.

a.1 Monoploidía o haploidía. Presentan un solo juego

a.2 Poliploidía. Si presentan más de dos juegos. Triploides, tetraploides...

a.2.1 Autopoliploidía. Si todos los juegos proceden de la misma especie.



Origen. La no disyunción en la meiosis de todos los cromosomas homólogos, seguida de la fecundación entre los gametos resultantes, puede producir cigotos haploides o triploides. La formación de gametos diploides puede producirse por fallos en la meiosis, esto dará lugar durante la fecundación a cigotos triploides o tetraploides.

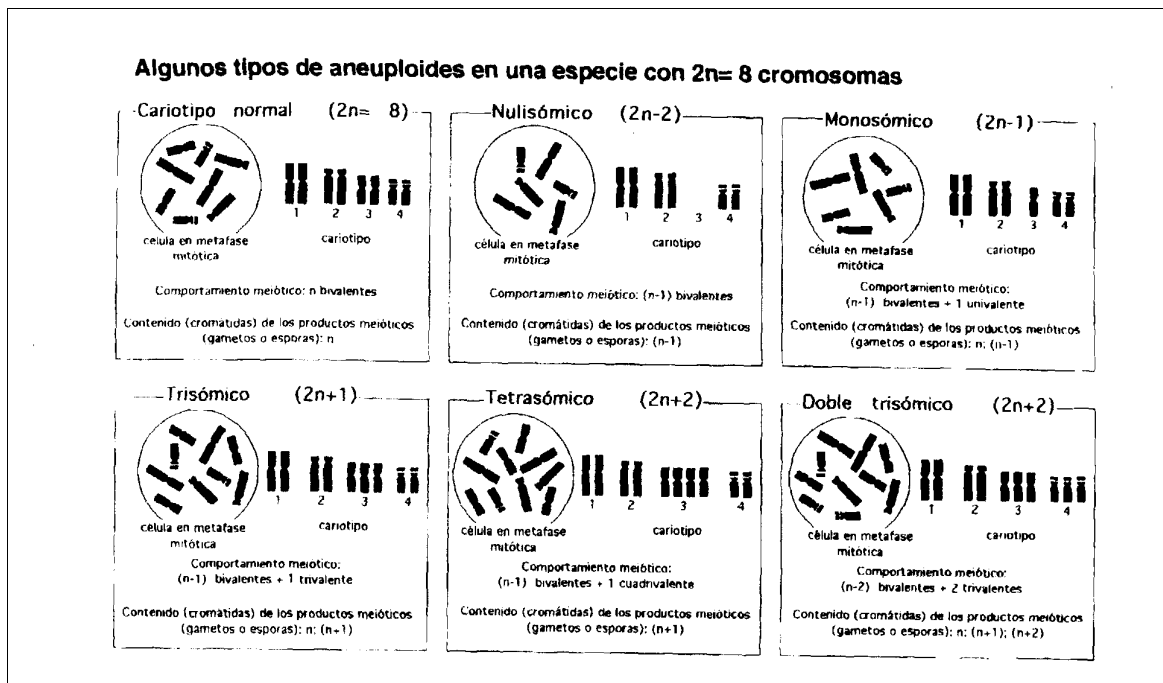
En las plantas pueden conseguirse tetraploides experimentalmente por tratamientos con colchicina.

Efectos fenotípicos. En general las anomalías de los euploides son menores que en los aneuploides en los que los efectos fenotípicos son mayores al no mantenerse las dosis relativas de genes.

b)- Aneuploidias: cuando afectan a una parte del juego cromosómico.

b.1 Afectan a los autosomas. Ejm. Trisomias

b.2 Afectan a los cromosomas sexuales. Ejm. Monosomías, trisomías



Efectos fenotípicos. Los síndromes más destacados son:

ANEUPLOIDIAS EN LOS CROMOSOMAS AUTOSÓMICOS		
SÍNDROME	MUTACIÓN	CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS
Síndrome De Down	Trisomía en el par 21	Ojos oblicuos, retraso mental, cabeza ancha y cara redondeada
Síndrome de Edwards	Trisomía en el par 18	Boca y nariz pequeñas, deficiencia mental, lesiones cardíacas, membrana interdigital. Poca Viabilidad
Síndrome de Patau	Trisomía en el par 13	Lábio leporino, paladar hendido, deficiencias cerebrales y cardiovasculares. Poca viabilidad
ANEUPLOIDIAS EN LOS CROMOSOMAS SEXUALES		
SÍNDROME	MUTACIÓN	CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS
Síndrome de Klinefelter	Uno o más cromosomas X en exceso (XXY, XXXY,..)	Sexo masculino. Esterilidad, deficiencias mentales y algunos caracteres sexuales secundarios femeninos.
Síndrome de Turner	Monosomía del cromosoma X	Sexo femenino con un sólo cromosoma X, esterilidad, baja estatura, tórax ancho.
Síndrome de triple X	Tres cromosomas X	Sexo femenino con órganos genitales atrofiados, fertilidad limitada. Bajo coeficiente mental
Síndrome de doble Y	Dos cromosomas Y (XYY)	Varones de estatura elevada, se relaciona con una mayor agresividad, bajo coeficiente mental.

Importancia evolutiva. Tienen más importancia evolutiva que las anteriores de cara a la obtención de nuevas especies

3.2 AGENTES MUTAGENOS.

A) RADIACIONES:

- a) **ionizantes:** rayos X, alfa, beta, y gamma;
- b) **no ionizantes:** rayos ultravioleta.

B) SUSTANCIAS QUÍMICAS: ácido nitroso, hidroxilamina, sustancias alquilantes (gas mostaza, dimetilsulfato) etc.

3.3 MUTACIONES Y EVOLUCIÓN

La evolución es el proceso por el que las poblaciones cambian sus características genéticas a lo largo del tiempo.

Llamamos “pool” génico de una población al conjunto de genes de la misma, formado por todos los alelos de los genes que tienen los individuos que la constituyen. Una combinación favorable de alelos en un individuo favorece su supervivencia y por tanto su reproducción.

La mutación es la fuente primaria de variación, pero no la única. La recombinación génica incrementa la variabilidad.

Las características de un organismo dependen de las proteínas que lo forman, es decir de la secuencia de nucleótidos.

La mayoría de los cambios evolutivos se producen por acumulación gradual de mutaciones en los genes y por variaciones en su número y organización.

La mayor parte de las mutaciones génicas son deletereas y las que se han mantenido producen una mejora. Y estas son las esenciales para la evolución.

La separación entre los miembros de una población impide el intercambio genético entre los mismos, esto, produce cada vez más diferenciación al necesitar adaptarse a ambientes distintos. Cuando con el tiempo, las diferencias impiden la reproducción entre los miembros de esos grupos, decimos que se trata de especies distintas.

Parece que evolutivamente los seres a lo largo del tiempo han ido aumentando la cantidad de genes (duplicaciones). Así en eucariotas, la cantidad de ADN es mayor.

3.4 CANCER: ENFERMEDAD GENÉTICA

CONCEPTO DE CANCER Y SU RELACIÓN CON EL ADN

Enfermedad que consiste en la multiplicación de ciertas células alteradas que forman tumores y pueden emigrar a otros puntos a través del sistema linfático o circulatorio = metástasis.

- Tumores localizados sin crecimiento indefinidos = tumores benignos
- Tumores que crecen invadiendo y destruyendo a los demás tejidos = tumores malignos.

Las células cancerosas crecen a gran velocidad, tienen proteínas de membrana distintas, presentan alteraciones en la forma e invaden a los tejidos próximos.

El paso de célula normal a cancerosa se denomina transformación cancerosa. Puede deberse a:

- Mutaciones
- Influencia de factores ambientales.
- Presencia de ciertos genes (protooncogenes) que pasan a oncogenes, al sufrir una mutación.
- Presencia de ciertos genes (antioncogenes) o genes inhibidores o supresores de la división celular.

CANCER PRODUCIDO POR VIRUS

Se conocen virus que favorecen o facilitan la aparición de células cancerígenas, debido a que producen mutaciones y algunas de estas mutaciones pueden ser cancerígenas.

CANCER PRODUCIDO POR SUSTANCIAS QUÍMICAS O POR RADIACIONES.

En humanos, la mayoría de los cánceres, salvo algunos, están fundamentalmente relacionados con agentes cancerígenos como:

- Radiaciones UV, X y nucleares.
- Alquitrán
- Ahumados
- Pan tostado chamuscado
- Amianto
- Cloruro de vinilo
- Anilinas
- Algunos conservantes y edulcorantes artificiales
- Bebidas alcohólicas (sobre todo de alta graduación)
- Tabaco (pulmón)

Los agentes cancerígenos son mutágenos. No son de efectos inmediatos. Es necesaria la repetición y otros factores complementarios para que se produzca la transformación de célula normal en célula cancerosa.

4 GENÉTICA APLICADA

4.1 INGENIERÍA GENÉTICA

Técnica que consiste en la introducción de genes en el genoma de un individuo que no los presente.

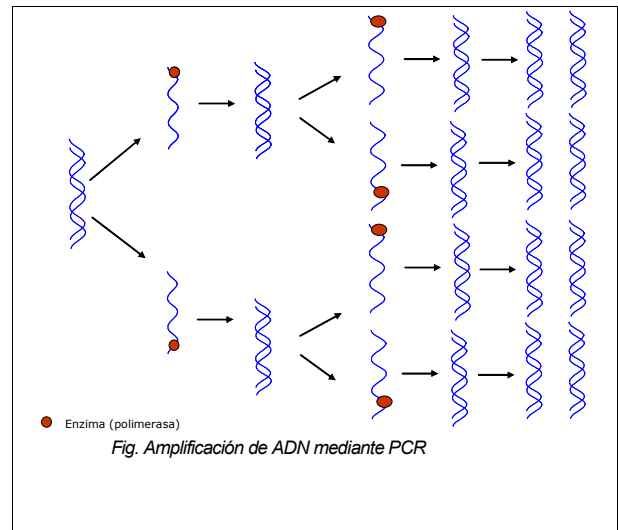
Hay técnicas moleculares por las que puede realizarse la transferencia de genes de una especie a otra. Así mediante un vector apropiado, que puede ser un plásmido o un virus, se puede introducir un gen de una especie en otra diferente.

Se pueden pasar genes de eucariotas a eucariotas, de eucariotas a procariontes y de procariontes a procariontes.

Ej. bacterias que producen insulina humana.

También existen métodos para amplificar una determinada secuencia o fragmento de ADN. La más conocida es la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa **PCR**. Así se consigue multiplicar el fragmento deseado millones de veces para poder estudiarlo.

Todo esto ha servido para el desarrollo de la ingeniería genética, ya que aparte de conocer los aspectos moleculares más íntimos de la actividad biológica, se han encontrado numerosas aplicaciones en distintos campos de la industria, la medicina, la farmacología, la agricultura, la ganadería,...



4.2. LA INGENIERIA GENÉTICA Y LA TERAPIA DE ENFERMEDADES HUMANAS

Hay en los humanos numerosas enfermedades de carácter hereditario o relacionadas con alteraciones genéticas.

En la mayoría de los casos no se han identificado los genes responsables. En unos pocos casos estos se conocen. En muy pocos se dispone del mecanismo para incorporar el gen correcto a las células del individuo afectado.

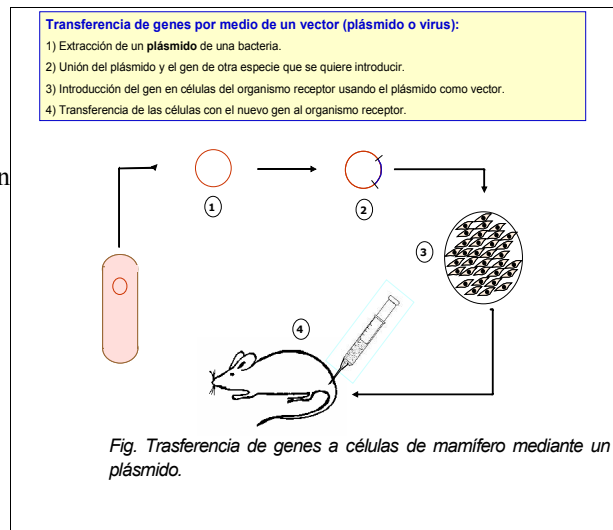
Puede transferirse el gen humano normal a una bacteria, obteniendo de ella la sustancia necesaria para luego inocularla en el enfermo.

En algunos casos puede transferirse el gen correcto a las células del humano: Terapia de células somáticas.

En el futuro, si el gen se hiciera llegar a un óvulo, un espermatozoide o el cigoto, todas las células del individuo

tendrían el gen normal: Terapia de células germinales (no es legal).

Todas estas terapias están sometidas a cambios muy rápidos.



SUSTANCIAS HUMANAS PRODUCIDAS POR BACTERIAS: La técnica consiste en introducir, mediante un vector adecuado, el gen humano en el genoma bacteriano. Con esta técnica se ha conseguido producir: insulina, hormona del crecimiento y factor VIII de la coagulación, entre otras sustancias.

INGENIERÍA GENÉTICA EN HUMANOS: Introducción del gen correcto en las células humanas. Esta técnica presenta dificultades y problemas como que los genes introducidos se expresan poco o que las alteraciones en su manifestación son peligrosas.

4.2. INGENIERÍA GENÉTICA Y LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL

Llamamos organismos transgénicos a aquellos que se desarrollan a partir de una célula en la que se han introducido genes extraños.

El objetivo es obtener características “útiles” de otros organismos. Estas características pueden ser muy variadas.

Fue una técnica difícil por la impermeabilidad de las membranas de las células eucariotas animales y por la pared celulósica de las vegetales, aunque cada vez hay mejores técnicas para resolver estos problemas.

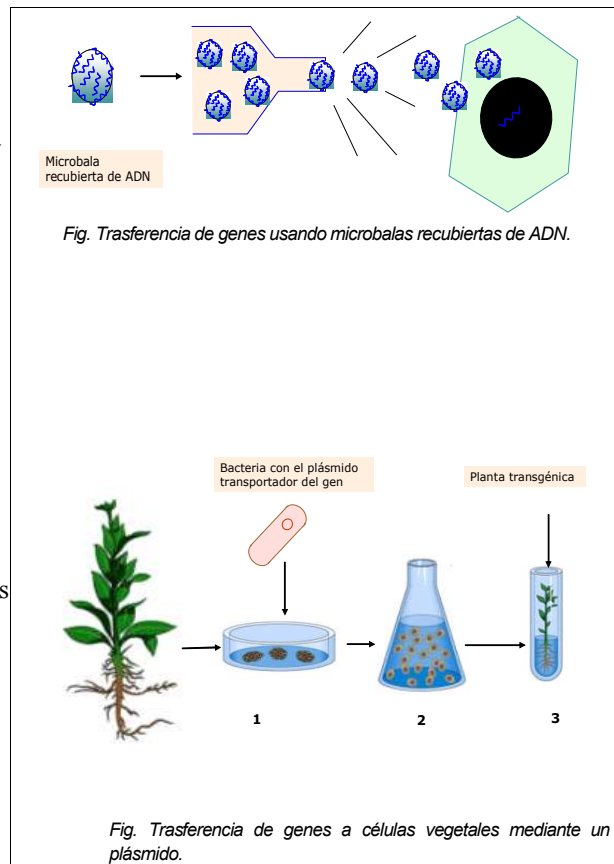
Se usa: Microinyección (introducción de ADN mediante microjeringa y micromanipulador).

En plantas:

- * Uso de pistolas con microbalas de metal recubiertas de ADN.
- * Uso como vector de un plásmido de una bacteria simbiote que produce tumores.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: Se han conseguido variedades transgenicas del maíz que resisten heladas por incorporación de un gen de un pez resistente al frío o variedades de trigo más nutritivas o de tomate que maduran más lentamente.

PRODUCCIÓN ANIMAL: La técnica empleada es la microinyección de genes en zigoto. Mediante esta técnica se han conseguido carpas que crecen más rápido, por introducción del gen de la hormona del crecimiento de la trucha arco iris o salmones transgénicos que resisten mejor las las temperaturas bajas por incorporación de un gen de una especie de platija del ártico.



RIESGOS

BIOSANITARIO. La mayoría de los productos se destinan al consumo humano y aún no se puede afirmar que no sean perjudiciales para la salud.

BIOÉTICO. ¿Hay derecho a monopolizar el uso de la información genética presente en la naturaleza?.

BIOTECNOLÓGICO. ¿Qué pasaría si el material genético de un virus tumoral terminara formando parte del genoma de alguna bacteria simbiote del ser humano?. ¿Y si los genes que permiten la resistencia a los antibióticos entraran en el genoma de los patógenos?. ¿O si los microorganismos inoos adquirieran los genes para producir toxinas potentes como la difteria, el cólera, el botulismo o el tétanos?.

4.3 GENOMA HUMANO

Comenzó su estudio en EEUU en 1990, pero hoy hay centros de numerosos países implicados en el proceso. El objetivo, ya conseguido, era secuenciar completamente el DNA.

EJEMPLO Un espermatozoide tiene 3 picogramos de ADN ¿qué longitud de ADN representa?. Sabiendo que la distancia entre bases es 3,4 A ¿cuántas bases tiene un espermatozoide?

Entrar en Internet y buscar el Proyecto Genoma Humano

Lectura comentada de un artículo sobre el Genoma Humano

4.4 RIESGOS E IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA

Existe un Comité Internacional de Bioética de la Unesco fundado en 1993 por Federico Mayor Zaragoza.

Los criterios establecidos son:

Límites por motivos ecológicos y de sanidad.

Límites por motivos éticos y morales.

Límites por motivos sociales.

Límites por motivos políticos.

La organización HUGO defiende que sólo se puedan patentar las secuencias de las que se sepa su función.

5. LAS LEYES DE LA HERENCIA

5.1.- CONCEPTOS BÁSICOS

CONCEPTO DE GEN

Los estudiosos de la herencia siempre han querido saber donde se encontraba y cual era el mecanismo hereditario para dar lugar a un determinado fenotipo. En esta investigación podemos diferenciar tres etapas:

Primera etapa

Comienza a primeros del siglo XX, en el momento que se redescubren las Leyes de Mendel.

El material genético es un elemento hipotético y se llaman “**factores**” a algo que se suponía había en las células reproductoras y que era responsable de la transmisión de un carácter.

Al “**factor**” solo se le conoce por sus efectos, es decir por el fenotipo.

Segunda etapa

Se inicia una década más tarde.

Johannsen da el nombre de genes a los factores de la herencia y Morgan y sus cols. emiten su **Teoría Cromosómica de la Herencia** según la cual, **los genes son un material (no se sabe su naturaleza, ni cómo es su modo de actuación) que está situado en los cromosomas.**

Tercera etapa

Corresponde con las últimas décadas del siglo XX.

Se conoce la naturaleza de los cromosomas y de los genes, la autoduplicación del ADN y el código genético, las causas de las mutaciones, el genoma humano ...

Desde el punto de vista de la **Genética Molecular se define gen como un fragmento de ADN (excepto los virus con ARN) que lleva la información para la síntesis de una proteína**, es decir para que unos determinados aminoácidos se unan de un modo concreto y formen una proteína.

Los genes son los responsables de los caracteres hereditarios, son las unidades estructurales y funcionales de la herencia transmitida de padres a hijos a través de los gametos y regulan la manifestación de los caracteres heredables.

Los miembros de un par de cromosomas homólogos llevan el mismo rosario de genes dispuestos en fila.

LOCUS (loci en plural)

Es el lugar que los genes ocupan en los cromosomas.

ALELOS O ALELIFORMOS

Son cada una de las diferentes formas alternativas que puede presentar un gen.

Un gen puede modificarse mediante mutaciones que dan lugar a la aparición de dos o más formas alternativas de dicho gen denominadas alelos o alelomorfos. Por lo general, se conocen varias formas alélicas de un gen; *el alelo más extendido en una población se denomina alelo salvaje, mientras que los otros más escasos, se conocen como alelos mutados.*

Por ejemplo, el amarillo o el verde, colores que presentan las vainas del guisante, dependen de alelos diferentes de un mismo gen. Los alelos se representan esquemáticamente utilizando letras.

GENOTIPO

Combinación de alelos (**AA**, **Aa**, **aa**) que presenta un individuo para un determinado carácter. Por extensión se define el *genotipo como el conjunto de genes que tiene un organismo*, heredados de sus progenitores. Permanece constante a lo largo de la existencia del individuo.

FENOTIPO

Es el nombre que recibe la manifestación externa del genotipo y representa lo que nosotros podemos observar: morfología, fisiología, etc. En el caso de las vainas del guisante, el fenotipo correspondería al color manifestado: amarillo o verde. Puede cambiar a lo largo de la existencia de un individuo, ya que el ambiente puede influir sobre el fenotipo modificándolo.

$$\text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Acción ambiental}$$

El ambiente de un gen lo constituyen los otros genes, el citoplasma celular y el medio externo donde se desarrolla un individuo.

Hay que tener en cuenta que se hereda el genotipo (los genes), pero esto no significa la manifestación automática de los caracteres regulados por dichos genes; para ello es precisa su expresión, es decir, que se transcriban y se traduzcan, y aquí es donde interviene la capacidad moduladora del ambiente. Por ejemplo, todas las células humanas poseen genes que regulan la pigmentación de los ojos, pero solo se expresan en las células del iris.

DOMINANCIA – RECESIVIDAD

Se dice que un carácter tiene herencia dominante cuando se expresa uno de sus alelos, alelo dominante; el otro alelo, alelo recesivo, para poder manifestarse debe encontrarse en homocigosis.

Los *alelos dominantes* se representan con *letras mayúsculas* y los *recesivos* con *minúsculas*. En el ejemplo del color de las vainas del guisante El *alelo dominante* sería **A** para el color amarillo y el *alelo recesivo* para el color verde **a**.

HOMOCIGÓTICO Y HETEROCIGÓTICO

Los organismos diploides poseen dos alelos para cada gen: uno que provienen del progenitor femenino y otro del masculino. Si *los dos alelos son iguales el individuo se llama homocigótico o raza pura* (**AA**) dominante o recesivo (**aa**). Cuando *los dos alelos son diferentes (Aa)*, se le denomina *heterocigótico o híbrido*.

HERENCIA INTERMEDIA

En algunos casos, los híbridos muestran fenotipos intermedios entre los dos progenitores, como por ejemplo la boca del dragón, una planta en la que los descendientes de un cruzamiento entre plantas de flores rojas y plantas de flores blancas presentan todas flores rosas, color intermedio entre el blanco y el rojo. Se produce cuando en un híbrido los dos alelos tienen la misma fuerza.

CODOMINANCIA

Ocurre cuando los híbridos tienen rasgos de los dos progenitores. Por ejemplo en la raza de ganado Shortorn muestra este tipo de herencia. Los descendientes de un cruzamiento entre un toro rojo y una vaca blanca son ruanos (pelo blanco y rojo entremezclado).

5.2.- LEYES DE MENDEL

Frente a todas las teorías que se habían postulado anteriormente, Mendel tuvo el gran acierto de utilizar un adecuado planteamiento experimental en el desarrollo de sus trabajos llevados a cabo en el monasterio de Brunn (República Checa)

Mendel quería saber como se heredaban los caracteres individuales y utilizó para ello la planta del guisante (*Pisum sativum*) por ser económica, producir gran número de descendientes, y como era hermafrodita permite su autofecundación y la fecundación cruzada artificial.

Al acierto de elección de la planta, Mendel añadió la del método científico empleado, consiguiendo demostrar que la herencia se producía de manera predecible.

Sus trabajos fueron publicados en 1866, aunque sus experiencias pasaron inadvertidas, hasta que 35 años después fueron reconocidas y renombradas como leyes de Mendel.

En 1900, tres botánicos confirmaron, de forma independiente, las conclusiones de Mendel, dando a conocer sus tres leyes. La primera y segunda ley se refieren a la herencia de un solo carácter (monohíbridos), y la tercera estudia la transmisión simultánea de dos caracteres (dihibridismo).

2.1 HERENCIA DE UN SOLO CARÁCTER

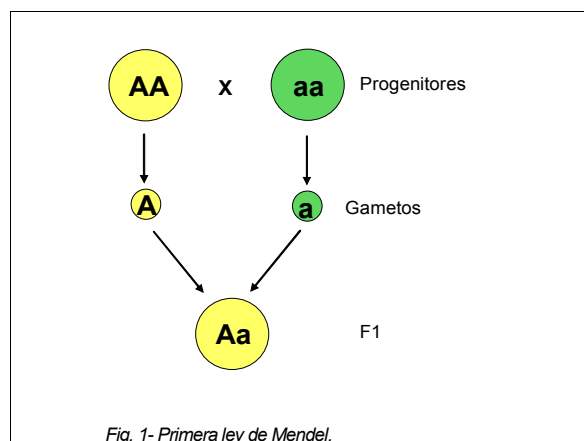
Los caracteres se heredan de forma predecible.

2.1.1 Primera ley. Ley de la uniformidad de los híbridos de la primera generación filial.

Cuando se cruzan dos individuos razas puras (homocigóticos) de una misma especie que difieren entre sí en un carácter, todos los individuos de la F₁ (primera generación) son idénticos entre sí genotípicamente y fenotípicamente (fenotipo idéntico al mostrado por uno de los progenitores).

Mendel inicio sus experimentos cruzando dos individuos homocigóticos para un determinado carácter. Así, en el siguiente cruzamiento entre guisantes, para el carácter color de la vaina, representamos por **A** el alelo dominante (amarillo) y por **a** el alelo recesivo (verde), la generación parenteral estará formada por:

- Plantas homocigóticas de vainas amarillas (**AA**)
- Plantas homocigóticas de vainas verdes (**aa**)



Los gametos producidos por las plantas **AA** llevan un solo alelo **A**, mientras que los de las **aa** llevan solo el **a**.

Los dos tipos de gametos se unen en la fecundación y todas las vainas formadas en la F₁ serán heterocigóticas (**Aa**).

2.1.2 Segunda ley. Ley de la segregación de los caracteres en la F₂

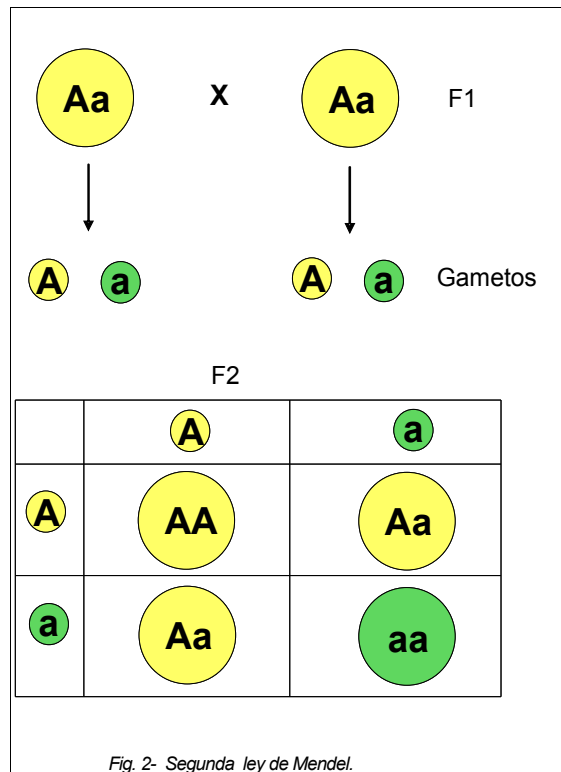
Segregación de los genes que forman la pareja de alelos de la F₁ para formar los gametos que luego vuelven a unirse al azar en la F₂.

Al cruzar entre sí individuos pertenecientes a la F₁, los factores o genes que controlan un determinado carácter, y que se encontraban juntos en los híbridos, se separan y se transmiten separadamente uno del otro, de tal manera que en la F₁ reaparecen los fenotipos propios de la generación parental.

Para obtener la F₂, Mendel dejó que las plantas de genotipo Aa de la F₁ se autofecundaran.

Cuando los heterocigóticos (Aa) forman los gametos, los dos alelos se separan. Así se forman con la misma probabilidad, los gametos con el alelo A y con el a.

La unión al azar de los distintos tipos de gametos origina las siguientes combinaciones de los genotipos de la F₂: AA, Aa y aa. Los individuos de genotipo AA y Aa, de los que se obtiene un 75%, presentan el fenotipo dominante (amarillo), y los de genotipo aa, un 25 %, el fenotipo recesivo (verde).



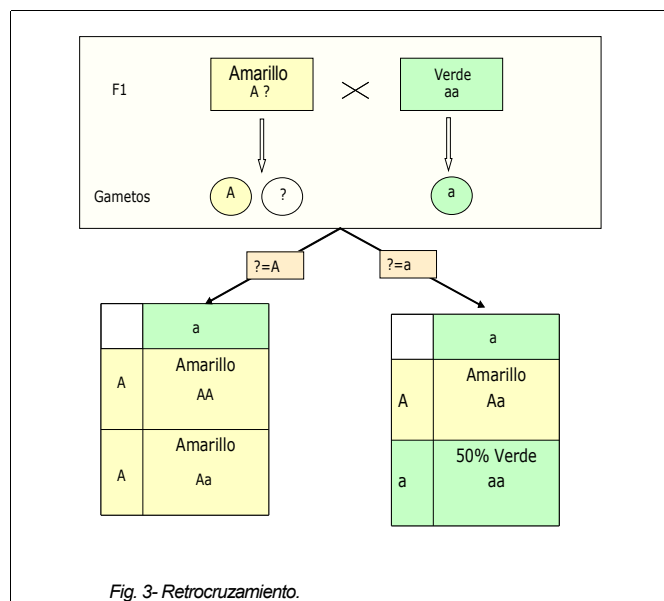
Retrocruzamiento o cruzamiento de prueba.

Los genes no se ven se ven y los fenotipos que son el reflejo de los genes. Por eso, en los casos de herencia dominante en los cuales obtenemos individuos heterocigóticos (Aa) y homocigóticos (AA) con el fenotipo dominante amarillo, para conocer cuál es el genotipo, se cruzan con otro individuo de genotipo homocigótico recesivo (aa), lo que se denomina retrocruzamiento.

Por ejemplo al cruzar vainas de guisantes amarillas que pueden ser AA o Aa, con, vainas de guisantes verdes, aa, son posibles dos resultados.

Resultado 1.- Aparecen plantas con guisantes verdes: el individuo problema es Aa.

Resultado 2.- No aparecen plantas con guisantes verdes: el individuo del problema puede ser AA.



2.2.-HERENCIA DE DOS CARACTERES SIMULTANEAMENTE

Comportamiento o transmisión independiente de los caracteres.

Estudia la transmisión simultánea de dos caracteres

2.2.1 Tercera ley. Ley de la independencia de los caracteres.

> **Cuando los genes que regulan ambos caracteres se localizan en pares de cromosomas homólogos distintos.**

Cuando se forman los gametos, los alelos de un gen se transmiten independientemente de los alelos del otro gen.

En la transmisión de dos o más caracteres, cada par de alelos que controla un carácter se transmite a la F₂ independientemente de cualquier otro par de alelos que controle otro carácter y no esté en el mismo cromosoma.

Durante la anafase I se separan los cromosomas homólogos de cada par y en la anafase II se separan las cromátidas de cada cromosoma; después de la autoduplicación del ADN se forman cuatro clases de gametos, cada uno de los cuales posee dos cromosomas. Puesto que su distribución se realiza totalmente al azar, existen cuatro posibilidades para que los cromosomas con sus genes se agrupen en cada gameto: (A-B), (A-b), (a-B) y (a-b).

Esta conclusión, a la que llegó Mendel contabilizando los descendientes de los cruzamientos, en la actualidad se entiende porque sabemos que los cromosomas emigran aleatoriamente a los polos.

> **Cuando los genes que regulan ambos caracteres se localizan en el mismo par de cromosomas homólogos: genes ligados.**

Años después de que se redescubriesen las leyes de Mendel, se demostró que la tercera ley o principio de independencia de los caracteres, tiene numerosas excepciones. Estas excepciones se producen cuando los genes que controlan caracteres diferentes se encuentran en el mismo par de cromosomas homólogos.

a) Ligamiento absoluto.

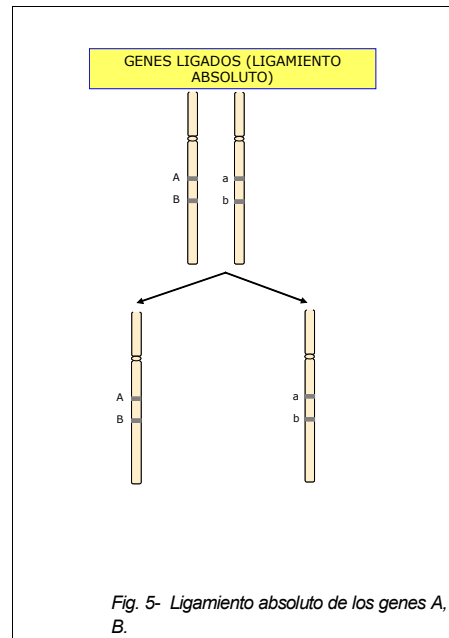
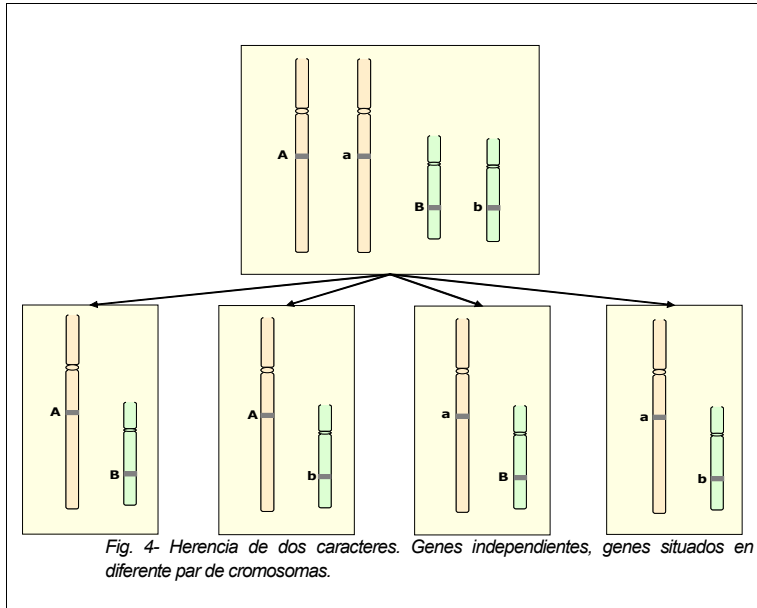
Si dos genes que rigen la aparición de dos caracteres distintos están en el mismo cromosoma, se transmiten juntos y no se segregan al azar.

Todos los genes que están un cromosoma se transmiten ligados.

b) Ligamiento relativo:

Se ha visto que en algunas ocasiones, dos genes que están juntos en los cromosomas de los padres, no siempre se transmiten así a los hijos. Estos genes aunque se encuentran en los mismos cromosomas, es decir, están ligados, su ligamiento no es total.

Esto significa que los resultados obtenidos son posibles siempre que los cromosomas en los que se encuentran situados los genes implicados intercambian fragmentos, este proceso está originado por el sobrecruzamiento durante la meiosis I, que trae como consecuencia el intercambio de genes o recombinación genética, que lleva a la formación de nuevas combinaciones de genes como ya se ha explicado anteriormente.



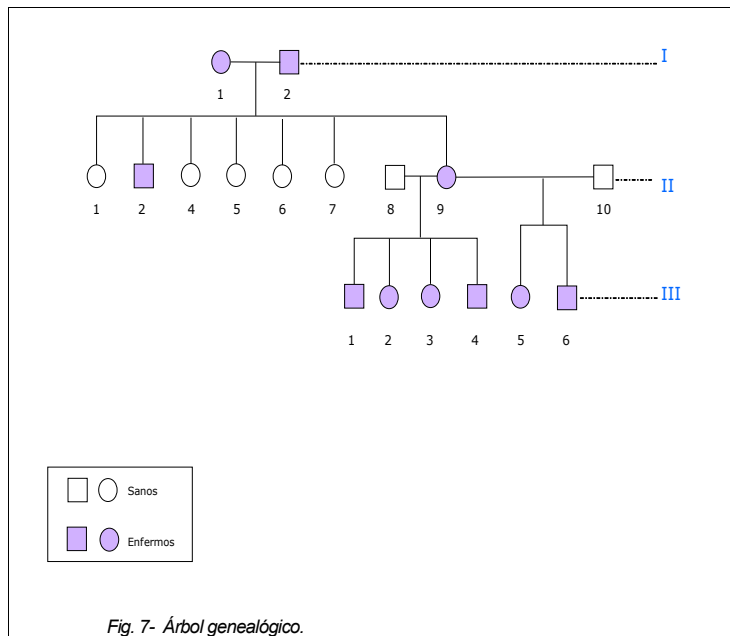
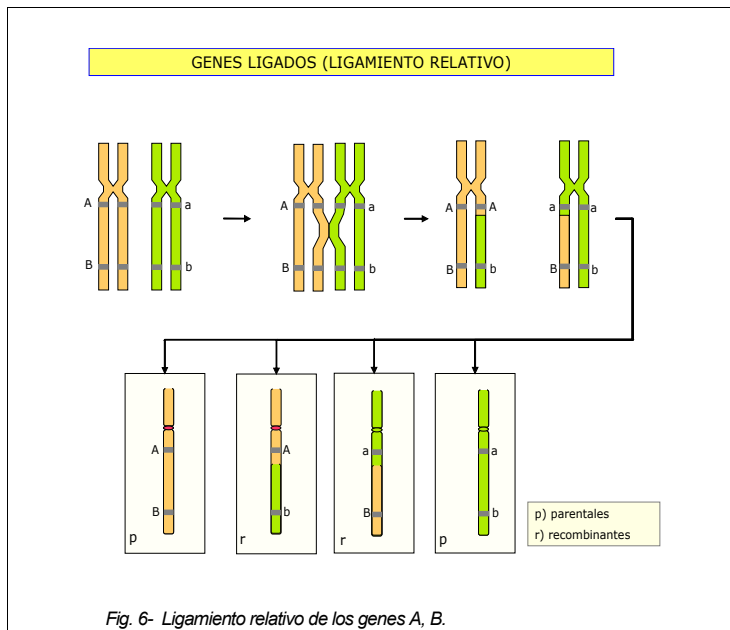
5. 3.- GENÉTICA HUMANA

Dada la naturaleza del ser humano, no es posible emplear para su estudio genético los mismos métodos empleados con otros organismos por eso la **genética humana** tiene que recurrir a la confección de **árboles genealógicos o pedigríes**, en los que se estudia la transmisión de un determinado carácter a través de varias generaciones.

3.1 CONFECCIÓN DE UN ÁRBOL GENEALÓGICO

Cada individuo se representa mediante un símbolo:

- Los **círculos** representan a las **mujeres** y los **cuadrados** a los **hombres**. Los círculos y cuadrados blancos indican personas con el carácter estudiado, mientras que los oscuros representan personas con el carácter recesivo.
- Cada fila horizontal de círculos y cuadrados representa una generación, de tal manera que las situadas en la parte inferior del árbol genealógico son las más recientes. Para distinguir una generación de otra se utilizan los números romanos: el I es la primera, el II la segunda, el III la tercera, el IV la cuarta y así sucesivamente. Para distinguir a las personas que pertenecen a una misma generación se numeran de izquierda a derecha, 1, 2, 3, 4, etc.



- Los matrimonios se indican mediante una línea uniendo a las dos personas.
- Los hijos de una misma pareja se unen con una línea horizontal, que estará unida por una línea vertical a la que liga a los padres. Los hijos se disponen de izquierda a derecha según su orden de nacimiento.

3.2 HERENCIA DE LOS GRUPOS SANGUINEOS DEL SISTEMA ABO

Se trata de un caso de herencia polialélica, que fue descubierta por el médico austriaco Kart Landsteiner.

Según el sistema **ABO**, las personas se clasifican en cuatro grupos (fenotipos) distintos en función de que se produzca o no la aglutinación sanguínea al mezclar una suspensión de eritrocitos de un grupo con suero sanguíneo de otro.

Los cuatro fenotipos **A**, **B**, **AB** y **O**, están controlados por una serie alélica integrada por tres alelos: I^A , I^B e I^O . La pertenencia a uno u otro grupo sanguíneo viene determinada por la presencia en la membrana de los glóbulos rojos de un polisacárido o antígeno específico y por anticuerpos específicos en el plasma sanguíneo.

Los alelos I^A e I^B determinan la producción de los antígenos A y B, respectivamente, y son codominantes, mientras que el alelo I^O no produce antígeno y es recesivo frente a los otros dos. Con estos tres alelos son posibles cuatro fenotipo y seis genotipos distintos, recogidos en el cuadro siguiente:

Genotipos posibles	Fenotipos posibles
$I^A I^A$	A
$I^A I^O$	A
$I^B I^B$	B
$I^B I^O$	B
$I^A I^B$	AB
$I^O I^O$	O

3.3 HERENCIA LIGADA AL SEXO

Caracteres ligados al sexo son aquellos que están determinados por genes localizados en los cromosomas sexuales. Se trata de caracteres que aparecen en uno solo de los sexos o bien, si lo hacen en ambos, con más frecuencia en uno de ellos que en el otro.

La especie humana tiene 46 cromosomas, es decir 22 parejas de autosomas y una pareja de heterocromosomas sexuales XX, en la mujer y XY en el hombre. Como en otras muchas especies, el tamaño del cromosoma X es mayor que el del Y, pero en ambos existe un largo **segmento homólogo**, que les permite aparearse y entrecruzarse durante la meiosis, y un corto **segmento diferencial**, no apareable, con genes específicos para cada uno de los dos cromosomas.

- **Herencia ligada al cromosoma Y**

Todos los genes que se encuentran situados en el segmento diferencial del cromosoma Y son heredados únicamente por los hijos varones. Por ejemplo la presencia de pelos en las orejas (hipertriosis) y la ictiosis, enfermedad de la piel caracterizada por la formación de escamas y cerdas.

- **Herencia ligada al cromosoma X**

Dado que el número de genes ligado al segmento diferencial del cromosoma X, es más numeroso que el de los ligados al Y, se generaliza como ligada al sexo todos los que se encuentren en el cromosoma X.

Lo mismo que en la herencia autonómica, el carácter puede estar controlado por un gen dominante o recesivo.

La **herencia dominante** ligada al cromosoma X se reconoce porque:

- El carácter se manifiesta con una frecuencia aproximadamente el doble en las mujeres que en los hombres.
- El varón que presenta la enfermedad la transmite a todas las hijas y a ninguno de los hijos.
- La mujer heterocigótica, que presenta un carácter, lo transmite a la mitad de los hijos y a la mitad de las hijas.
- Este tipo de herencia es poco frecuente. Un ejemplo es el raquitismo resistente a la vitamina D.

La **herencia recesiva** ligada al cromosoma X se reconoce porque:

- En el hombre se manifiesta simplemente con que sea portador del gen; en la mujer, el gen debe estar en homocigosis. La aparición del carácter queda prácticamente restringida al hombre y es raro en la mujer.
- Se transmite de generación en generación a través de las mujeres portadoras.
- El padre que presenta el carácter nunca lo transmite a sus hijos varones. Lo transmite a sus nietos varones a través de sus hijas, que serán portadoras del mismo.

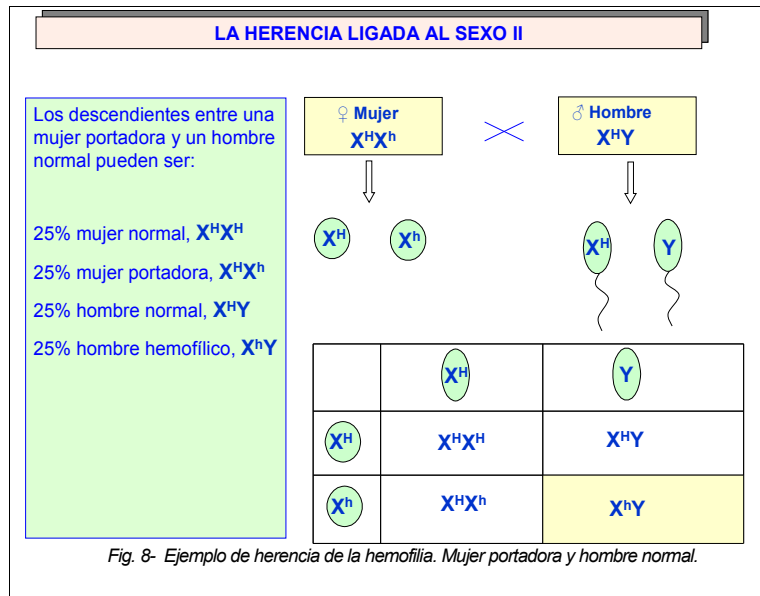
El **daltonismo y la hemofilia** dos enfermedades provocadas por un gen recesivo situado en el segmento diferencial del cromosoma X; por ello para que una mujer padezca la enfermedad debe de ser homocigótica recesiva, mientras que los hombres, que son hemicigóticos, basta que el gen se encuentre en el único cromosoma X que tienen.

El daltonismo es un defecto visual que hace que la persona afectada tenga dificultades para distinguir con claridad en color rojo del verde.

La hemofilia es una enfermedad que provoca problemas de coagulación de la sangre debido a la carencia de alguno de los factores proteicos responsables de la misma.

Herencia influida por sexo

Existen caracteres como, como la calvicie en la especie humana y la presencia o ausencia de cuernos en algunas razas ovinas, que están determinados por genes situados en la parte homóloga de los cromosomas sexuales o bien en los autosomas, y cuya manifestación depende del sexo.



Genotipos	Fenotipos	
	Hombres	Mujeres
CC	Normal	Normal
Cc	Calvo	Normal
cc	Calvo	Calva

IV MICROBIOLOGÍA.

1. CONCEPTO Y TIPOS DE MICROORGANISMOS.

Los microorganismos o microbios son organismos de pequeño tamaño, observables únicamente con la ayuda del microscopio. La Microbiología es la rama de la Biología que se encarga del estudio de los microorganismos.

Los microorganismos se clasifican en:

CLASES DE MICROORGANISMOS		
a) Microorganismos con organización celular - Poseen membrana celular - Tienen como ácidos nucleicos tanto ADN como ARN).	Procariotas	Arqueobacterias Eubacterias
	Eucariotas	Protozoos Algas microscópicas Hongos microscópicos
b) Microorganismos sin organización celular - No poseen membranas - Nunca están presentes los dos ácidos nucleicos juntos (ADN o ARN). - Son parásitos estrictos de los que tienen organización celular, pues carecen de metabolismo.		Virus Viroides Priones

2. BACTERIAS: MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA BACTERIANA.

ARQUEOBACTERIAS: Son bacterias consideradas "fósiles vivientes" pues viven en hábitats muy especiales que parecen corresponder con los que existieron en la Tierra primitiva, por ejemplo, se encuentran en ambientes termales donde se alcanzan temperaturas por encima del punto de ebullición del agua (en *Pyrococcus furiosus* su óptimo de crecimiento es de 104°C), en fumarolas, etc.

En medios halófilos (muy salados) (ej: *Halobacterium*: son halófilos estrictos).

EUBACTERIAS: son las bacterias típicas. Por ejemplo la *Escherichia coli*.

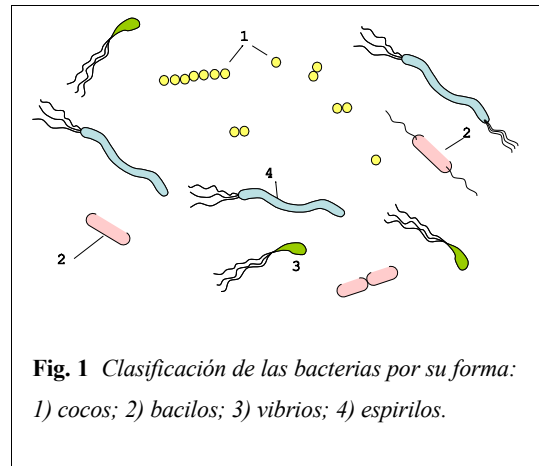
Son microorganismos unicelulares procariotas, cuyo tamaño oscila entre 1 y 10 micras (como son muy pequeñas no necesitan citoesqueleto), adaptados a vivir en cualquier ambiente, terrestre o acuático, pues en las

diferentes estirpes bacterianas pueden observarse todas las formas de nutrición conocidas: las hay autótrofas, fotosintéticas y quimiosintéticas, y heterótrofas, saprófitas, simbióticas y parasitarias. Esta notable diversidad de funciones convierte a las bacterias en organismos indispensables para el mantenimiento del equilibrio ecológico, ya que, como se verá más adelante, contribuyen al mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos que permiten el reciclaje de la materia en la biosfera.

La mayor parte de las bacterias adoptan formas características, aunque en ocasiones la configuración puede verse influida por las condiciones del medio de cultivo. Son unicelulares, pero también aparecen agrupadas cuando se mantienen unidas tras la bipartición. Entre las formas más comunes destacan las siguientes:

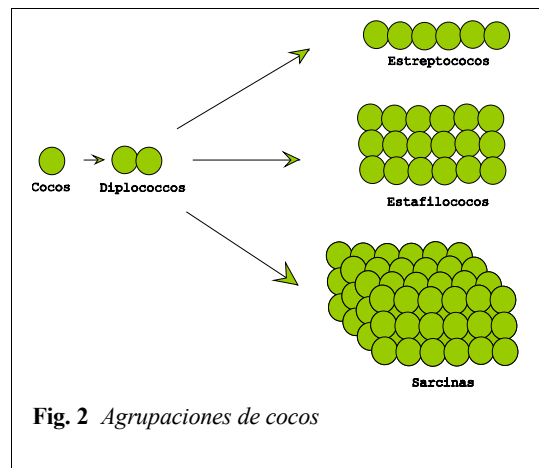
* **Cocos**, de aspecto redondeado, que aparecen aislados o en grupos de dos (diplococos), otras veces forman cadenas arrosariadas (estreptococos), grupos arracimados (estafilococos) o masas cúbicas (sarcinas). La diversidad depende de que la división de las células se dé a lo largo de uno, dos o tres ejes.

Las bacterias con forma de cocos presentan una relación superficie/volumen mínima, son bacterias con poca relación con el exterior, muy resistentes y se transmiten por el aire. Son pequeñas y exigentes con el medio de cultivo. Suelen ser patógenas: *Streptococcus*, *Staphylococcus*, etc.



* **Bacilos**, alargados y cilíndricos, en forma de bastón; a veces se presentan en cadenas lineales o ramificadas.

Los bacilos presentan mayor relación superficie/volumen. Obtienen nutrientes con mucha mayor efectividad, por lo que pueden vivir en lugares pobres en nutrientes (vías urinarias, agua). Por el contrario, son menos resistentes, susceptibles a los cambios ambientales y no pueden transmitirse por el aire, sólo lo hacen por líquidos o superficies húmedas. Las más grandes (*Bacillus* y *Clostridium*) desarrollan endosporas para resistir los periodos de condiciones precarias.



* **Espirilos**, con forma de hélice o espiral; las espiroquetas tienen un aspecto similar, pero con la espiral más acusada.

Las formas espirales se mueven en medios viscosos, avanzando en tornillo. Su diámetro es muy pequeño, esto hace que puedan atravesar las mucosas (ejemplo: *Treponema pallidum*, causante de la sífilis). Son más sensibles a las condiciones ambientales que las cilíndricas, por eso cuando son patógenas se transmiten por contacto directo (vía sexual) o mediante vectores, normalmente artrópodos hematófagos.

* **Vibrios**, que son muy cortos y curvados, en forma de coma. Ejemplo *Vibrio cholerae*.

El estudio de las bacterias se realiza mediante cultivos, que consisten en esencia, en extractos nutritivos estériles, ya sean líquidos o sólidos. Los líquidos, preparados en tubos de ensayo debidamente tapados con algodón gordo y esterilizados, suelen ser caldo de carne, suero sanguíneo y sangre, enriquecidos con ciertas sustancias sin las cuales no pueden reproducirse (aminoácidos, peptona, etc.). Los sólidos se obtienen a partir de los líquidos mediante adición de agaragar o gelatina en caliente, luego se vierte sobre tubos de ensayo inclinados o sobre cajas de Petri; posteriormente se esterilizan, se siembran utilizando el asa de platino y se colocan en la estufa de cultivo a la temperatura adecuada que favorezca su multiplicación.

MORFOLOGÍA Y FISIOLÓGÍA BACTERIANA.

La ultraestructura y la actividad fisiológica de las bacterias solo se puede apreciar con el microscopio electrónico en conjunción con las técnicas bioquímicas y citológicas adecuadas, como la ultracentrifugación, técnicas isotópicas de marcaje, utilización de medios de cultivo diferenciales, etc.

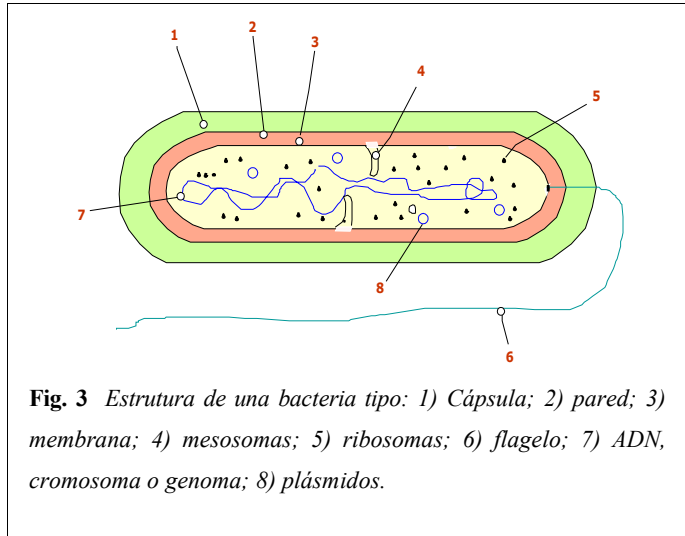


Fig. 3 Estructura de una bacteria tipo: 1) Cápsula; 2) pared; 3) membrana; 4) mesosomas; 5) ribosomas; 6) flagelo; 7) ADN, cromosoma o genoma; 8) plásmidos.

Los componentes estructurales básicos de las bacterias son:

*** Pared bacteriana.**

Estructura presente en todas las bacterias. Es una envoltura rígida exterior a la membrana. Da forma a la bacteria y sobre todo soporta las fuertes presiones osmóticas de su interior.

Los componentes fundamentales de la pared son los peptidoglucanos o mureínas. Además, contiene otros elementos diferentes según pertenezca al grupo de las Gram negativas o al de las Gram positivas:

En las bacterias **Gram negativas** la red de peptidoglucanos se dispone en una sola capa basal delgada, sobre la cual hay una capa externa constituida por lipoproteínas y lipopolisacáridos que se proyectan hacia el exterior.

En las bacterias **Gram positivas** la red de peptidoglucanos origina varias capas superpuestas, es gruesa y homogénea.

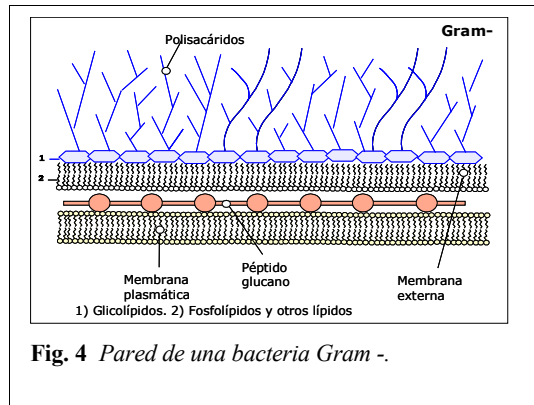


Fig. 4 Pared de una bacteria Gram -.

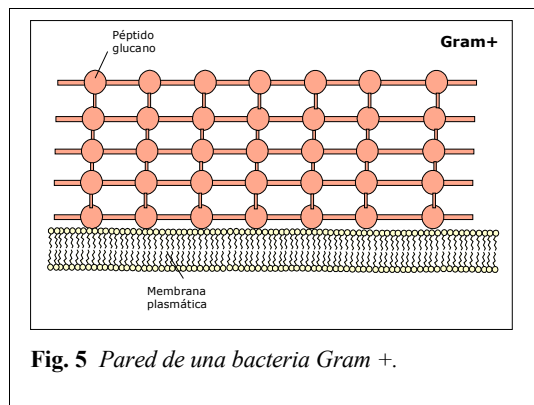


Fig. 5 Pared de una bacteria Gram +.

OBSERVACION DE MICROORGANISMOS. TINCIÓN DE GRAM. : FUNDAMENTO

INTRODUCCIÓN

El tamaño de la mayoría de las células bacterianas es tal que resultan difíciles de ver con el microscopio óptico. La principal dificultad es la falta de contraste entre la célula y el medio que la rodea. El modo más simple de aumentar el contraste es la utilización de colorantes.

Si se desea simplemente aumentar el contraste de las células para la microscopía, son suficientes los procedimientos que usan un solo colorante llamados de **tinción simple**. Sin embargo, a menudo se utilizan métodos que no tienen de igual modo todas las células, es el proceso denominado **tinción diferencial**. Uno muy usado en microbiología es la tinción Gram. Basándose en su reacción a la tinción Gram, las bacterias pueden dividirse en dos grupos: **grampositivas** y **gramnegativas**. Esta tinción tiene gran importancia en taxonomía bacteriana ya que indica diferencias fundamentales de la pared celular de las distintas bacterias.

Para explicar el mecanismo de la tinción de gram se han propuesto varias hipótesis fundadas en la naturaleza química de las paredes celulares de los microorganismos.

TINCIÓN DE GRAM.

Método.

Extensión: En un porta **bien limpio** (con alcohol, papel de filtro y flameado) se coloca una gota de agua destilada a la que, con el asa de siembra, previamente esterilizada a la llama, se lleva una pequeña cantidad de suspensión de bacterias o, en su caso, de una colonia.

Con el asa se extiende la gota y las bacterias sobre el porta y **se fija la extensión por el calor, calentando**

Algunos antibióticos actúan sobre los componentes moleculares de la pared; por ejemplo, la lisozima (presente en las lágrimas, moco nasal y mayoría de tejidos y secreciones) rompe los enlaces glucosídicos de los peptidoglucanos, lo que provoca la lisis por ósmosis y destrucción de la bacteria; otros, como la penicilina, son antibióticos bacteriostáticos porque inhiben la síntesis de los peptidoglucanos y, por ello, interrumpen el crecimiento bacteriano.

suavemente a la llama del mechero hasta que se seque.

Coloración:

- a) 1 minuto en cristal violeta de Hucker (**colorante inicial**)
- b) se lava con agua destilada
- c) 1 minuto en lugol (**mordiente**)
- d) se decolora con alcohol de 95° (**decolorante**)
- e) se lava con agua destilada
- f) 1 minuto en fucsina (**colorante de contraste**)
- g) se lava con agua corriente
- h) se seca **suavemente y sin frotar** con papel de filtro

Una vez que la preparación está totalmente seca, poner una gota muy pequeña de aceite de cedro y observar al microscopio con el objetivo de inmersión.

Observación.

Las bacterias que aparecen coloreadas de violeta son Gram + y las que aparecen coloreadas de rojo más o menos intenso, son Gram-.

*** Cápsula bacteriana.**

En numerosas bacterias se forma en la parte externa de la pared una cápsula viscosa compuesta por sustancias glucídicas. Esta envoltura, que se presenta en casi todas las bacterias patógenas, las protege de la desecación y de la fagocitosis por los leucocitos del hospedador, así como del ataque de los anticuerpos, lo que aumenta la virulencia de las bacterias encapsuladas.

La presencia de la cápsula no es, sin embargo, un carácter taxonómico, pues determinadas bacterias pueden o no formarla en función de los medios de cultivo.

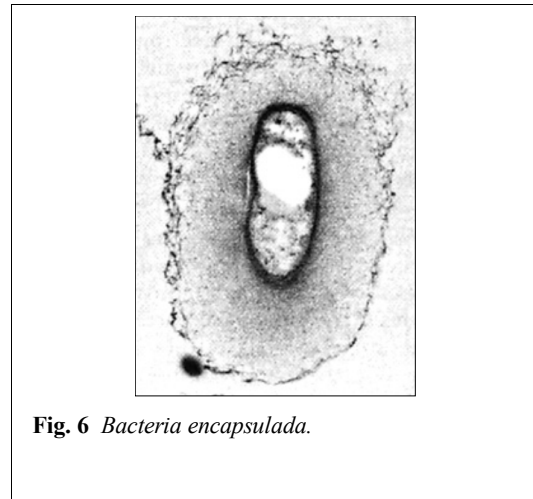


Fig. 6 Bacteria encapsulada.

*** Membrana.**

Es una envoltura que rodea al citoplasma. Está constituida por una membrana de tipo unitario de 75 Å de espesor. Su estructura es idéntica a la de las células eucariotas, variando sólo en algunas de las moléculas que la componen; por ejemplo en la membrana bacteriana no hay esteroides. Una particularidad que presenta la membrana bacteriana es la existencia de unos repliegues internos que reciben el nombre de **mesosomas**.

Las funciones de la membrana plasmática bacteriana son las mismas que en la célula eucariota, es decir, limitan la bacteria y regulan el paso de sustancias nutritivas. Los mesosomas incrementan la superficie de la membrana plasmática y además tienen gran importancia en la fisiología bacteriana, puesto que en ellos hay gran cantidad de enzimas responsables de importantes funciones celulares, entre las que destacan las siguientes:

Transporte de los electrones, mediante el conjunto de transportadores de la cadena respiratoria, y fosforilación oxidativa.

Síntesis de diversos componentes de la membrana, la pared y la cápsula.

Contienen los pigmentos fotosintéticos y demás componentes de los fotosistemas.

El ADN polimerasa de los mesosomas regula el proceso de duplicación del ADN.

*** Ribosomas.**

Son corpúsculos similares a los de las células eucarióticas, aunque de menor tamaño (su velocidad de sedimentación es de 70 S), compuestos por una subunidad pequeña de (30 S) y otra mayor

de (50 S). Se encuentran dispersos en el protoplasma bacteriano, aislados o asociados en cadenas de ARNm (polirribosomas), y se encargan de la síntesis de proteínas.

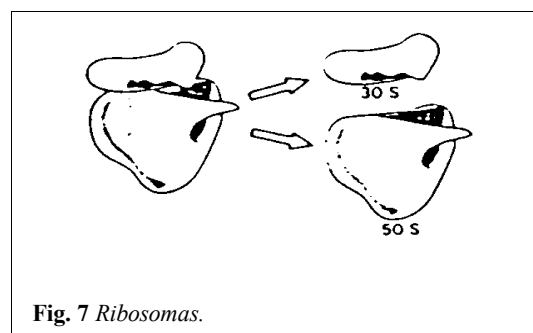


Fig. 7 Ribosomas.

*** Cromosoma bacteriano**

El ADN de la bacteria está constituido por una sola molécula en doble hélice (esta molécula es muy grande en comparación con el tamaño de la bacteria), circular, superenrollada y

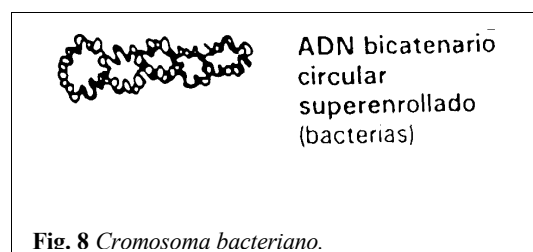


Fig. 8 Cromosoma bacteriano.

asociada a proteínas no histonas. Suele estar unida a los mesosomas. En las células bacterianas puede haber también una o varias moléculas pequeñas de ADN denominadas **plásmidos**.

*** Inclusiones.**

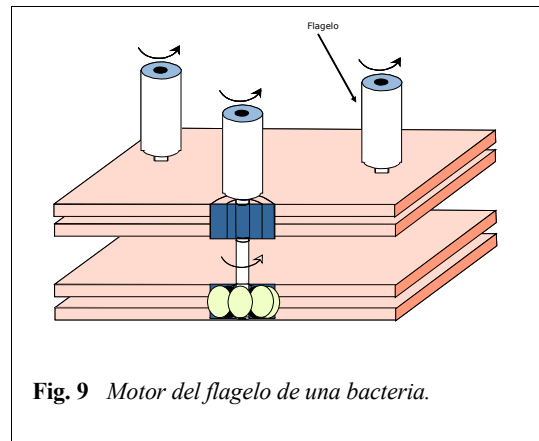
En el protoplasma bacteriano se encuentra una gran variedad de granulaciones, que cumplen, generalmente, la función de depósitos de sustancias de reserva.

*** Flagelos.**

Son apéndices filiformes de mayor longitud que la bacteria que permiten su locomoción. Se presentan en número y disposición variable y están formados por fibrillas proteicas compuestas de una proteína llamada flagelina.

*** Fimbrias o Pili.**

Son filamentos huecos, delgados y rectos, situados en la superficie de determinadas bacterias y cuya función no está relacionada con la locomoción, sino con la adherencia a los sustratos y el intercambio de fragmentos de ADN durante la conjugación.



FUNCIONES DE NUTRICIÓN EN LAS BACTERIAS.

La mayor parte de las bacterias son heterótrofas y deben tomar el alimento orgánico sintetizado por otros organismos. La obtención del alimento la hacen por diversos caminos:

- * Las bacterias de vida libre suelen ser **saprófitos**, viven sobre materia orgánica muerta.
- * Muchas viven en relación estrecha con otros organismos. De ellas, la mayoría son **comensales** y no causan daños ni aportan beneficios a su huésped; algunas son **parásitas** (producen enfermedades) y otras son **simbiontes**.

Otras bacterias son autótrofas y utilizan compuestos inorgánicos para su nutrición:

- * Las **autótrofas fotosintéticas**, como las bacterias sulfurosas verdes y purpúreas. No utilizan agua como dador de electrones en la fotosíntesis, sino otros compuestos, como el sulfuro de hidrógeno, y no producen oxígeno. Al poseer pigmentos que absorben luz casi infrarroja, pueden realizar la fotosíntesis prácticamente sin luz visible.
- * Las **autótrofas quimiosintéticas**, a diferencia de las fotosintéticas, utilizan la energía que desprenden ciertos compuestos inorgánicos al oxidarse.

Independientemente del tipo de nutrición, las bacterias pueden necesitar el oxígeno atmosférico (**bacterias aerobias**) o no (**bacterias anaerobias**). Para algunas bacterias anaerobias el oxígeno es un gas venenoso (**anaerobias estrictas**), otras lo utilizan cuando está presente, aunque pueden vivir sin él (**anaerobias facultativas**).

FUNCIONES DE RELACIÓN EN LAS BACTERIAS.

Las bacterias responden a un número elevado de estímulos ambientales diversos mediante modificaciones de su actividad metabólica o de su comportamiento. Ciertas clases, ante los estímulos adversos del ambiente, provocan la formación de **esporas de resistencia**, que, al ser intracelulares, se denominan **endosporas**.

Las endosporas bacterianas son estructuras destinadas a proteger el ADN y el resto del contenido protoplasmático, cuya actividad metabólica se reduce al estado de vida latente; pueden resistir temperaturas de hasta 80°C y soportan la acción de diversos agentes físicos y químicos. En condiciones favorables germinan y dan lugar a una nueva bacteria (forma vegetativa).

Pero la respuesta más generalizada consiste en movimientos de acercamiento o distanciamiento respecto a la fuente de los estímulos (**taxias**) que pueden ser de varios tipos: **flagelar**, de **reptación o flexuosos** (parecido al de las serpientes, pero en espiral).

FUNCIONES DE REPRODUCCIÓN Y GENÉTICA BACTERIANA..

Generalmente las bacterias se multiplican por bipartición o división binaria; tras la duplicación del ADN, que está dirigida por la ADN polimerasa de los mesosomas, la pared bacteriana crece hasta formar un tabique transversal separador de las dos nuevas bacterias. Pero además de este tipo de reproducción asexual, las bacterias poseen también un conjunto de mecanismos, definidos como parasexuales, mediante los cuales se intercambian fragmentos de ADN ; esta transferencia de información genética de una bacteria a otra puede realizarse por transformación, por transducción , o por conjugación :

*** Transformación.**

Consiste en el intercambio genético producido cuando una bacteria es capaz de captar fragmentos de ADN de otra bacteria que se encuentran dispersos en el medio donde vive. Sólo algunas bacterias pueden ser transformadas. Las que pueden serlo se dice que son competentes.

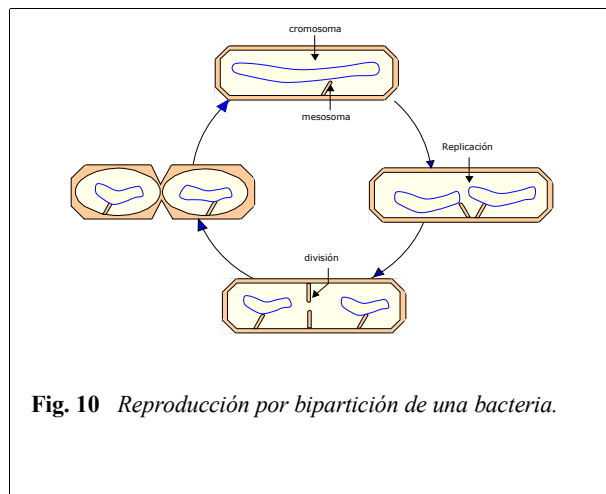


Fig. 10 Reproducción por bipartición de una bacteria.

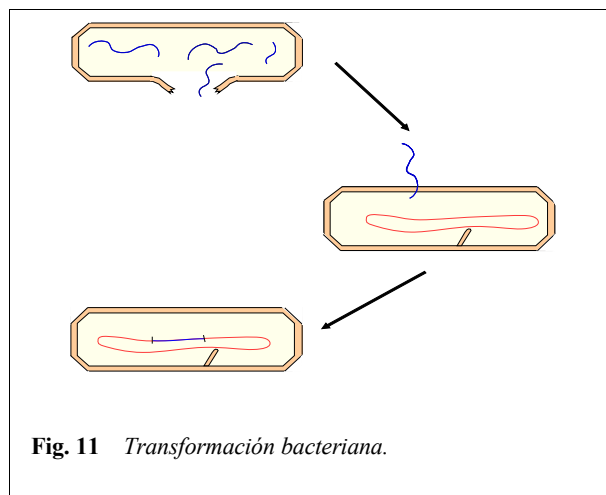


Fig. 11 Transformación bacteriana.

*** Transducción.**

En este caso la transferencia de material genético de una bacteria a otra, se realiza a través de un virus bacteriófago que por azar lleva un trozo de ADN bacteriano y se comporta como un vector intermediario entre las dos bacterias (ver ciclo lítico de un fago).

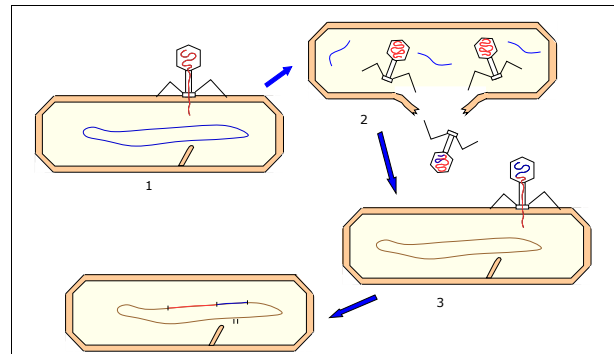


Fig. 12 Transducción: 1) Fijación del fago a la bacteria; 2) Respuesta lítica; 3) Transducción del fragmento de ADN a otra bacteria; 4) Integración del

*** Conjugación.**

Se define como el mecanismo parasexual mediante el cual una **bacteria donadora** transmite, a través de las **fimbrias o pili**, un fragmento de su ADN a otra **bacteria receptora**.

Las bacterias donadoras son las que poseen pequeñas cadenas de ADN de doble hélice y circulares, denominadas **episomas o factores F**, además del cromosoma bacteriano. Estas bacterias se denominan **F⁺** cuando el **factor F** está separado del cromosoma; pero, en ocasiones, este factor puede integrarse en el cromosoma, que se abre y se transforma en una cadena lineal, con lo que la bacteria **F⁺** queda convertida en **Hfr** (alta frecuencia de recombinación). Las bacterias receptoras carecen de episomas y se denominan **F⁻**.

Durante la conjugación uno de los factores F de una bacteria **F⁺** pasa a través de las fimbrias a una bacteria **F⁻**, que se cambia en **F⁺** y adquiere la capacidad de formar estos pili sexuales, mientras que la bacteria **F⁺**, como posee varias copias del episoma no pierde su condición de donadora.

La transformación bacteriana fue descrita en primer lugar por Griffith (1920) y más tarde por Avery, McLeod y McCarty (1944), y es responsable, por ejemplo en el caso de *Streptococcus pneumoniae*, de la transformación de cepas bacterianas no virulentas (cepas R) en virulentas (cepas S), cuando se cultivan en medios que contienen fragmentos bacterianos procedentes de la cepa S destruida previamente por el calor.

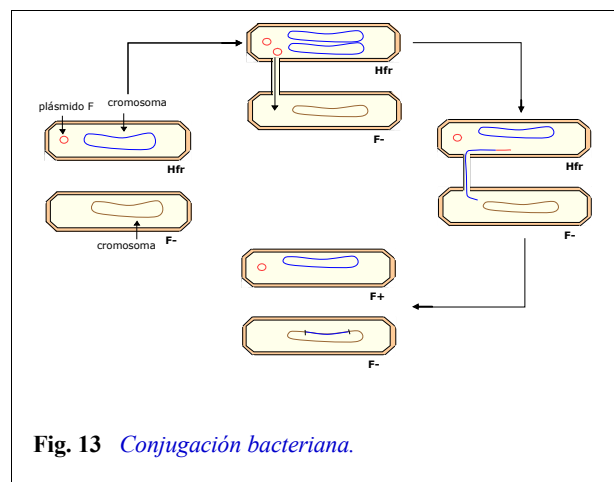


Fig. 13 Conjugación bacteriana.

Las bacterias **Hfr**, sin embargo, pueden transferir la totalidad o parte de su ADN cromosómico a través de las fimbrias a una bacteria **F⁻**. Para ello, previamente, deben duplicar su ADN cromosómico, junto con el episoma que lleva integrado, y una de las copias del cromosoma puede trasladarse a una bacteria **F⁻** (generalmente sólo pasan fragmentos cromosómicos debido a la fragilidad de las fimbrias).

El factor F suele permanecer en la bacteria **Hfr**, ya que se encuentra inserto en la región terminal del cromosoma que casi nunca circula a través de las fimbrias, porque éstas se destruyen antes de que les de tiempo a pasar. Los genes que han logrado atravesar el pili se integran en el cromosoma de la bacteria **F⁻**, que de esta forma adquiere caracteres

de la Hfr (se producen fenómenos de sobrecruzamiento y recombinación génica entre el cromosoma y los fragmentos).

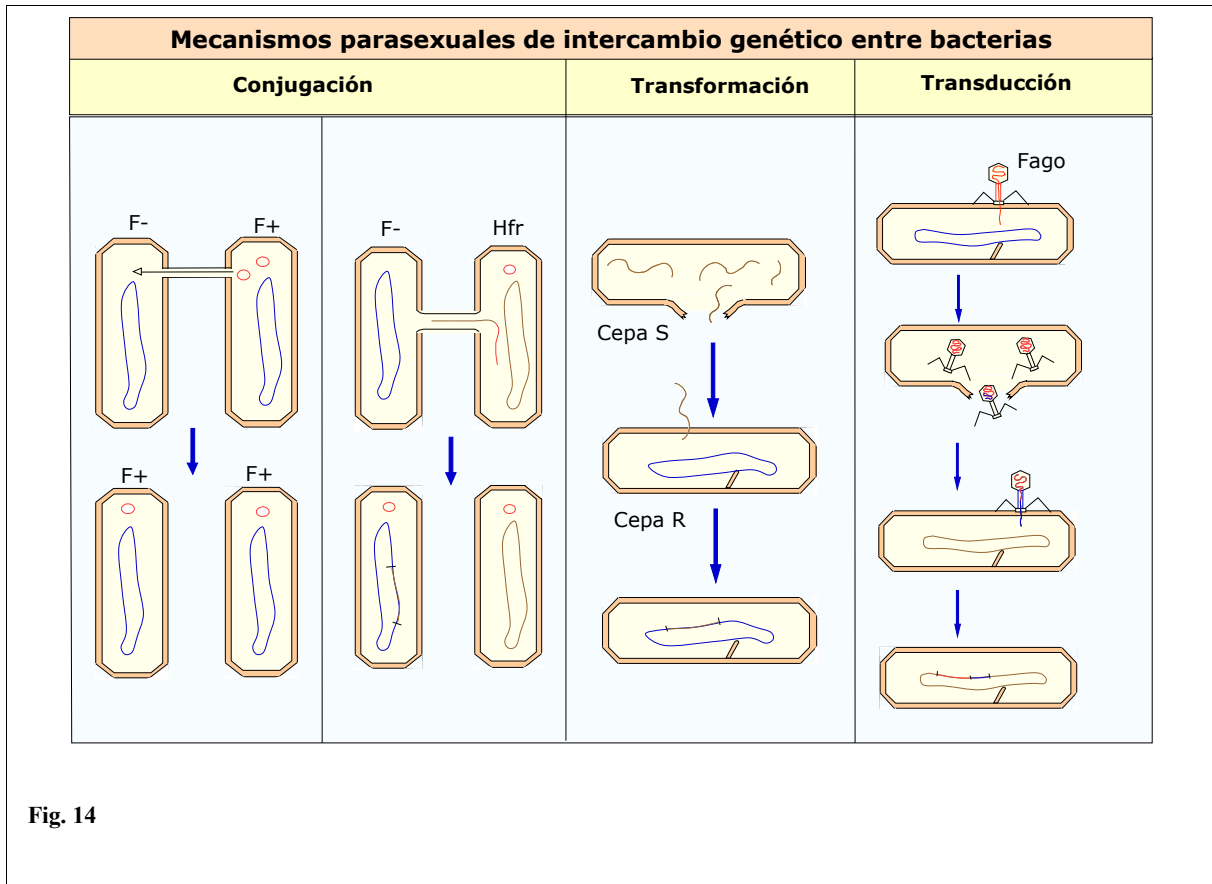


Fig. 14

MICROORGANISMOS SIN ORGANIZACIÓN CELULAR.

3. VIRUS.

Los virus son organismos dotados de extraordinaria simplicidad, pertenecen a un nivel de organización subcelular, y marcan la barrera entre lo vivo y lo inerte: no se nutren, no se relacionan, carecen de metabolismo propio y para reproducirse utilizan la maquinaria metabólica de la célula a la que parasitan; su simplicidad estructural y funcional los convierte en parásitos intracelulares obligados, tanto de bacterias (bacteriófagos o fagos), como de las células animales y vegetales.

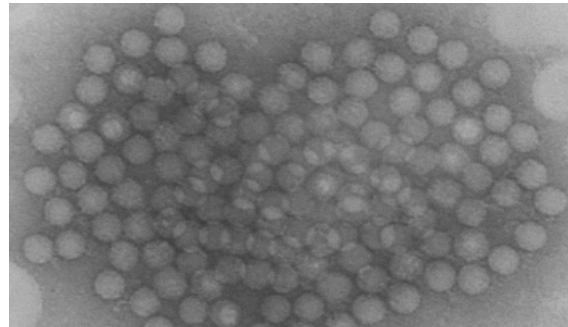


Fig. 15 *Partículas víricas.*

Las partículas víricas, llamadas también viriones, están constituidas por una molécula de ADN o ARN contenida en el interior de una cápsula proteica y, en ocasiones, una envoltura membranosa.

En realidad, los virus pueden considerarse como fragmentos independizados del genoma celular que han adquirido los genes necesarios para rodearse de una envoltura protectora y poseen la capacidad de desplazarse de una célula a otra. Mientras que los transposones son genes que se desplazan de un sitio a otro del cromosoma de una célula, los virus representarían a otro grupo de genes similares, pero que por haber adquirido la cápsula protectora se aventuraron a dar “saltos” mayores.

La destrucción celular es la consecuencia de la infección provocada por el virus, y las repercusiones para el organismo dependen de la importancia del tejido lesionado; así, mientras el virus de la gripe causa la destrucción de células de la mucosa respiratoria y “no reviste gravedad”, el virus de la rabia, sin embargo, destruye neuronas y puede ser mortal si alcanza los centros vitales del encéfalo; otros, como el virus del SIDA, destruyen el sistema inmunitario, y el organismo queda expuesto a todo tipo de infecciones oportunistas que terminan por causar la muerte.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS VIRUS.

Los virus sólo resultan visibles mediante microscopía electrónica; [(su tamaño oscila desde los 10 nanómetros (en los pequeños virus de la poliomielitis), hasta los 300 nanómetros (en el virus de la viruela, el mosaico del tabaco TMV y otros)]. Se diferencian entre ellos, además de por el tamaño, por las características estructurales de la cubierta, la naturaleza de su ácido nucleico, el modo de penetración en la célula hospedadora y el mecanismo de replicación.

CÁPSIDA .

Todos los virus presentan, sin excepción, una envoltura proteica, denominada, **cápsida**, compuesta por el ensamblaje de una o varias subunidades proteicas llamadas **capsómeros**, dispuestas a menudo en varias capas concéntricas.

La geometría de la cápsida es uno de los criterios que permite clasificar los virus en tres grupos: **icosaédricos, helicoidales y complejos**.

***Icosaédricos** : son los virus de aspecto esférico, cuya cápsida adopta la estructura de un icosaedro (poliedro de 20 caras triangulares, 30 aristas y 12 vértices), por ejemplo: *los adenovirus , el virus de la polio y los picornavirus*.

***Helicoidales o cilíndricos** : están representados por el *virus del mosaico del tabaco y el virus de la rabia*; presentan un aspecto alargado, que en realidad corresponde a un cilindro hueco, donde los capsómeros se ensamblan siguiendo un ordenamiento helicoidal, similar a los peldaños de una escalera de caracol.

***Complejos** : parecen adoptar las dos estructuras anteriores, como los *virus bacteriófagos*, poseen una región icosaédrica, llamada **cabeza**, donde se aloja el ADN y una **cola** formada por una banda de simetría helicoidal (en cuyo interior se encuentra un **eje tubular**) terminada en un conjunto de **fibras y espinas caudales** que constituyen su sistema de anclaje.

*** Virus con envoltura membranosa**

La mayoría de los virus animales, como el de la gripe, la viruela, la hepatitis o el SIDA, posee una **envoltura membranosa** por fuera de la cápsida; en realidad se trata de un fragmento de la membrana plasmática de la célula hospedadora que el virus ensambla en su superficie al abandonarla mediante un proceso de gemación. La bicapa lipídica que forma esta envoltura

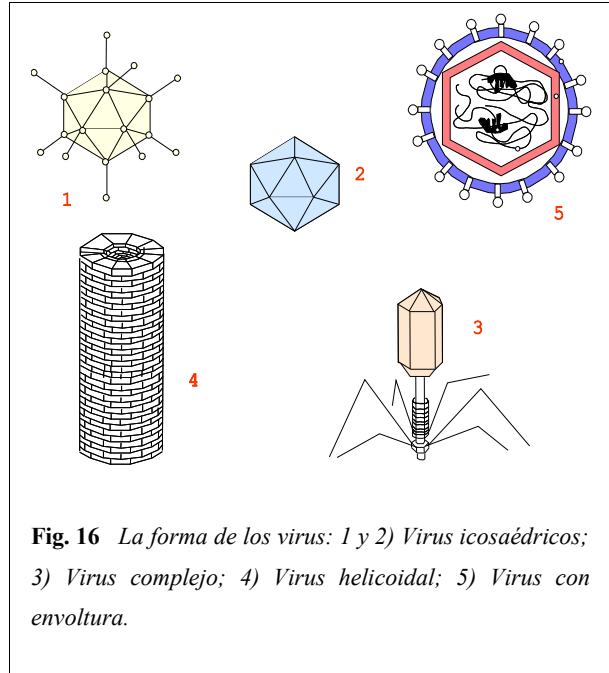


Fig. 16 La forma de los virus: 1 y 2) Virus icosaédricos; 3) Virus complejo; 4) Virus helicoidal; 5) Virus con envoltura.

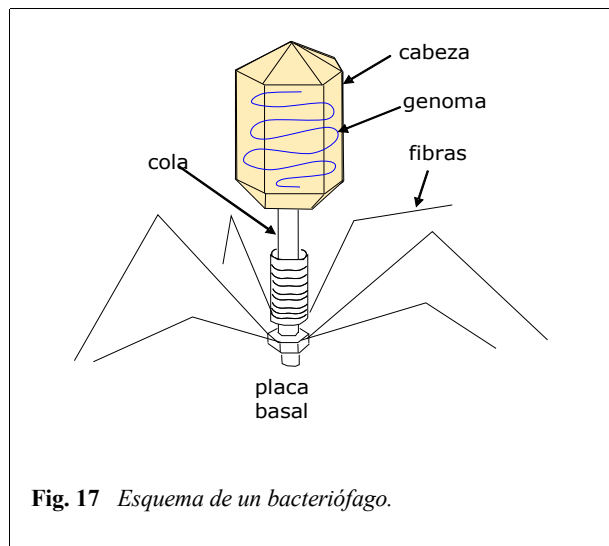


Fig. 17 Esquema de un bacteriófago.

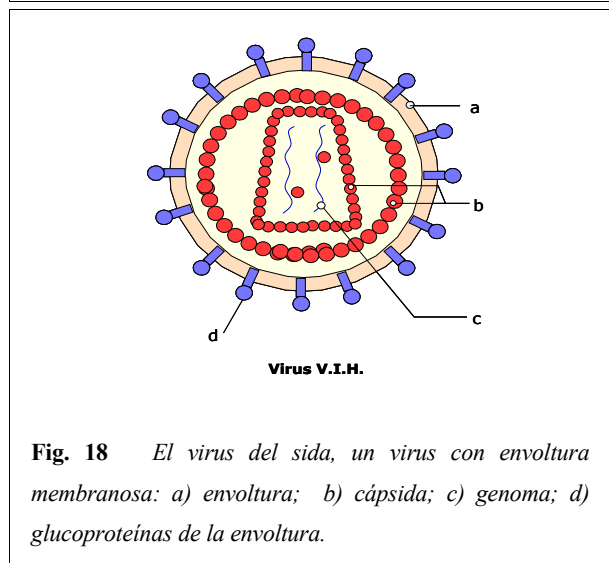


Fig. 18 El virus del sida, un virus con envoltura membranosa: a) envoltura; b) cápsida; c) genoma; d) glucoproteínas de la envoltura.

posee un conjunto de **glucoproteínas** codificadas por el virus y dispuestas hacia el exterior, a modo de **espículas**, que constituyen su sistema de anclaje en los receptores de membrana de las células hospedadoras y, por tanto, median en el mecanismo de penetración por **endocitosis** o por fusión de membranas. La envoltura membranosa es muy importante desde el punto de vista inmunológico.

ÁCIDO NUCLEICO.

Es el componente esencial del virus y puede ser **ADN monocatenario**, por ejemplo, en el fago OX174, o **ADN bicatenario**, como el fago T4, y los adenovirus; pero también existen virus con **ARN bicatenario** (los reovirus) y otros portadores de **ARN monocatenario**, como es el caso de los virulentos retrovirus, entre los que se encuentran el de la gripe, el sarampión, la rabia, el SIDA y determinados virus oncógenos causantes de ciertos tipos de cáncer (sarcoma de Rous, determinadas leucemias, etc.). Este último grupo contiene, además de los otros componentes mencionados, un enzima particular llamado **retrotranscriptasa** o **transcriptasa inversa**, que le va a permitir transcribir su ARN en un ADN dentro de la célula infectada.

El material genético viral				
Tipo de Virus	Ácido nucleico	Cápsida	Envoltura	Ejemplo
Virus vegetales	ARN monocatenario	Helicoidal	No	Mosaico del tabaco
Bacteriófagos	ADN bicatenario	Compleja	No	Bacteriófago T4
Virus animales	De todos los tipos	Icosaédricos	Frecuente	Gripe, SIDA, etc.

MECANISMO DE REPLICACIÓN: CICLO VITAL.

Aunque el genoma de un virus contiene escaso número de genes, es suficiente para inhibir la expresión génica de la célula hospedadora y obligarla a transcribir y traducir su breve mensaje. El modo de penetración, los mecanismos y los compartimentos celulares utilizados para la replicación, son diferentes en los distintos tipos de virus. De todos ellos, se pondrán como ejemplo el de los retrovirus y los bacteriófagos.

Ciclo vital de un retrovirus: El VIH causante del SIDA

Los retrovirus son un grupo muy especial de virus animales. Son virus cuyo ácido nucleico es ARN, poseen envoltura y el enzima **transcriptasa inversa**.

EL VIH es un retrovirus relativamente complejo. Está constituido por una membrana lipídica con glucoproteínas dispuestas al exterior a modo de espículas. En el interior encontramos una cápsida proteica que encierra el material genético, formado por dos moléculas de ARN monocatenario y se encuentran ligadas, cada una de ellas, a una molécula de una enzima, la transcriptasa inversa.

El VIH ataca preferentemente a los **linfocitos T4**. El contacto entre las espículas de su envoltura membranosa y los receptores de la célula hospedadora, permiten la fusión de membranas, introduciendo en su interior la nucleocápside con el material genético.

Superado el mecanismo de penetración, se despoja de su cápsida proteica y queda libre la hebra de ARN y la retrotranscriptasa que transporta.

La transcriptasa inversa primero hace una copia en ADN de la cadena de ARN, es decir, invierte los procesos normales de transcripción de ADN a ARN, originando una hélice híbrida ARNADN.

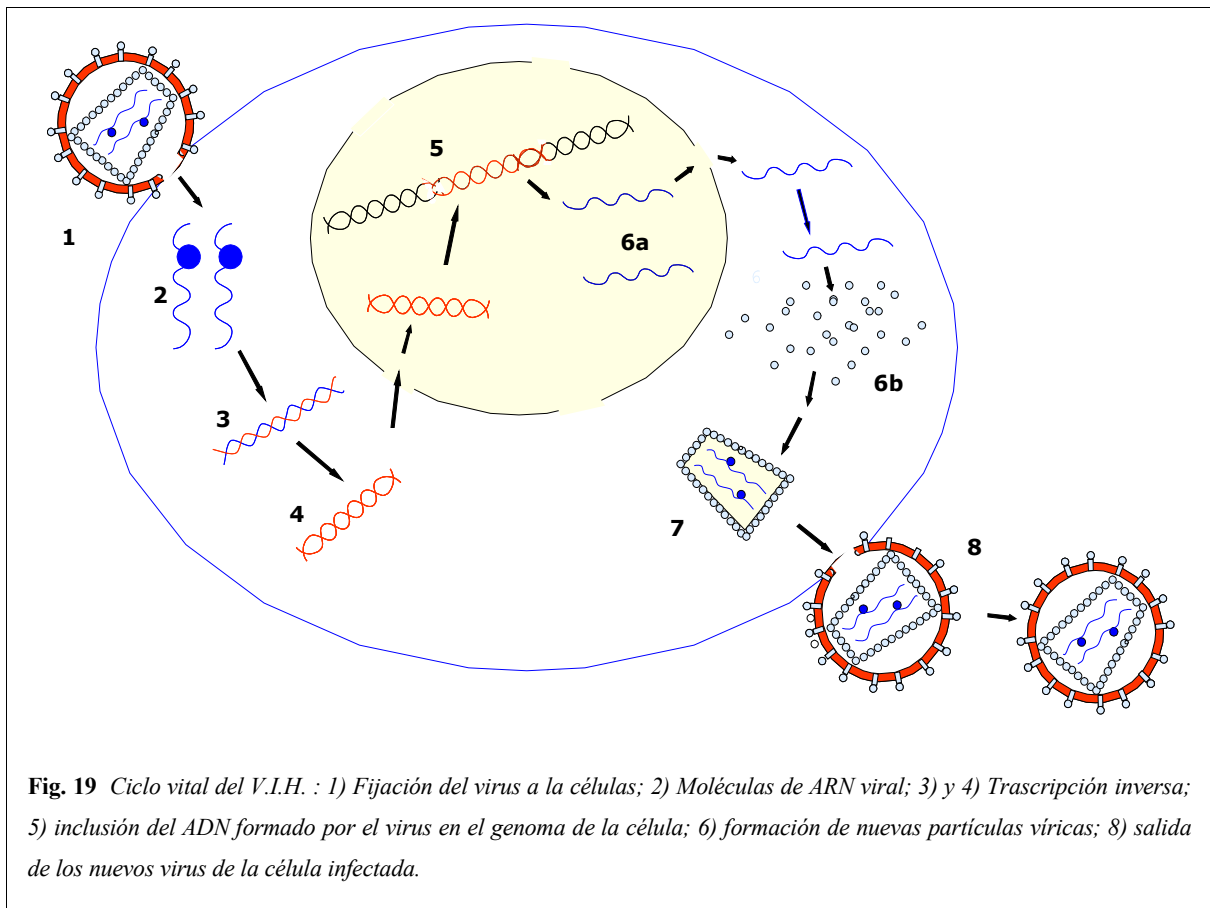


Fig. 19 Ciclo vital del V.I.H. : 1) Fijación del virus a la células; 2) Moléculas de ARN viral; 3) y 4) Transcripción inversa; 5) inclusión del ADN formado por el virus en el genoma de la célula; 6) formación de nuevas partículas víricas; 8) salida de los nuevos virus de la célula infectada.

La hélice híbrida ARNADN es utilizada por la misma enzima para generar una doble hélice de ADN (previa degradación del ARN).

Las dobles cadenas de ADN víricas se inserta en el cromosoma celular, donde puede permanecer en estado latente en forma de provirus durante un tiempo más o menos prolongado.

Finalmente se transcribe y se traduce utilizando la maquinaria metabólica de la célula y origina nuevas copias de ARN vírico, proteínas de la cápsida y de la envoltura y enzimas retrotranscriptasas.

Estos componentes se ensamblan, y los virus abandonan la célula mediante un proceso de gemación que les permite adquirir de nuevo su recubrimiento membranoso.

Todo este proceso puede ser lento, originando tan sólo un descenso de la actividad metabólica del hospedador, o ser rápido y terminar con la lisis de la célula.

Ciclo vital del fago T4 .

El bacteriófago T4 es un virus complejo con una cabeza icosaédrica y una cola en la que hay una placa basal y fibras de fijación. El genoma se compone de una molécula de ADN bicatenaria que se encuentra profusamente empaquetada dentro de la cabeza.

El fago se fija en la pared bacteriana, en las regiones denominadas **puntos de adherencia**, a través de los cuales inyecta su ADN mediante la contracción de la vaina de la cola. Una vez en el protoplasma bacteriano, el ADN puede seguir dos caminos: multiplicarse y originar nuevos virus (**vía lítica**), con lo que se produce la destrucción de la bacteria, o integrarse en el cromosoma bacteriano y adoptar la forma de profago (**vía lisogénica**).

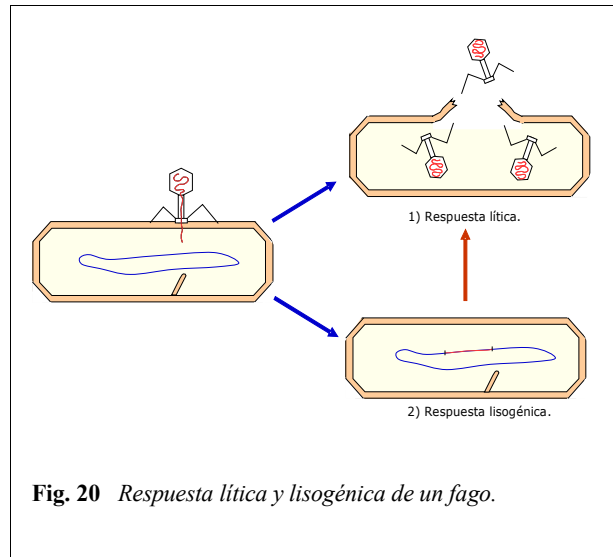


Fig. 20 Respuesta lítica y lisogénica de un fago.

Ciclo lítico.

* **Fijación o adsorción del virus y penetración de su ácido nucleico.** Inicialmente, el bacteriófago fija su cola a receptores específicos de la pared de la bacteria, donde una enzima, localizada en la cola del virus, debilita los enlaces de las moléculas de la pared. Posteriormente se contrae la vaina helicoidal, lo que provoca la inyección del contenido de la cabeza a través del eje tubular de la cola del fago: el ácido nucleico penetra en la célula.

* **Entrada en actividad del ácido nucleico del virus.** Una vez dentro el ADN del virus, utilizando nucleótidos y la enzima ARNpolimerasa de la bacteria, dirige la síntesis de gran cantidad de ARNm viral. Este ARNm viral sirve de base para la síntesis de proteínas del virus (capsómeros, endonucleasas, endolisinas).

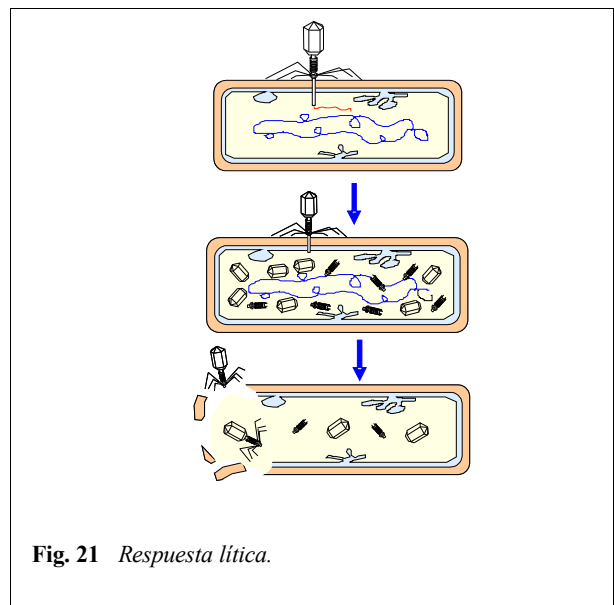


Fig. 21 Respuesta lítica.

El ADN vírico, utilizando los complejos enzimáticos de la bacteria se replica muchas veces.

* **Ensamblaje de nuevos virus.** Tanto los ácidos nucleicos replicados como el resto de los componentes víricos que se han sintetizado se ensamblan, dando lugar a nuevos virus.

* **Liberación.** En una bacteria pueden formarse unos 100 bacteriófagos, que salen al exterior debido a la acción de la endolisina, enzima que lisa la pared bacteriana. Debido a ello, se produce la ruptura de la pared bacteriana y la muerte de la célula; los virus quedan libres para infectar nuevas células.

Ciclo lisogénico.

No siempre se produce la lisis inmediata de la célula. Hay fagos **atemperados, o atenuados**, que se integran en el ADN bacteriano por entrecruzamiento de dos regiones idénticas del fago y de la bacteria, del mismo modo a como ocurre en los plásmidos. Estos fagos integrados se denominan profagos, y se replican pasivamente con el ADN de la bacteria. Las bacterias capaces de establecer esa relación con los fagos atenuados se denominan **lisogénicas**.

El ADN del profago puede permanecer en forma latente durante varias generaciones de la bacteria, hasta que un estímulo induzca la separación del profago que iniciará un ciclo lítico típico. Mientras la célula posea el ADN profago, será inmune frente a infecciones de este mismo virus. Otros virus que no son bacteriófagos pueden tener ciclo lisogénico.

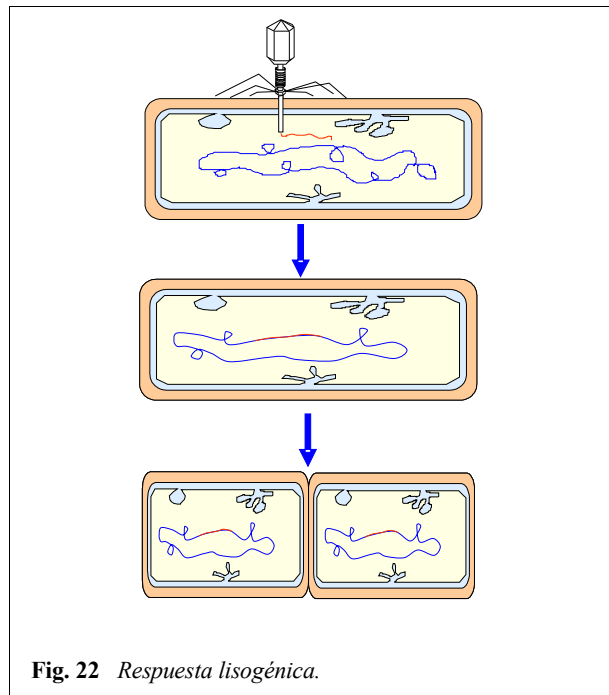


Fig. 22 Respuesta lisogénica.

4.VIROIDES:

Son extremadamente sencillos y forman un escalón inferior a los virus. Son simplemente genomas desnudos, ARN de una cadena (pero en forma de horquilla, pues hay complementariedad entre sus bases, y simulan un ARN doble para protegerse de los enzimas hidrolíticos celulares que atacan a los ARN simples) y no presentan chapista proteica. Solamente causan enfermedades en los vegetales (producen pérdidas económicas importantes: patata en USA, cocoteros en Filipinas).

Son de menor tamaño que cualquiera de los genomas víricos conocidos, pero suficiente para poder codificar una proteína, pero no se cree que lo hagan, ya que el ARN de los viroides carece de señales que se necesitan para la traducción del ARN a una proteína. Por lo tanto su información no se traduce, solo se replica. Parece probable que sea la ARNpolimerasa del hospedador, que está en el núcleo de las plantas, la que replica el genoma del viroide. No está claro cómo se transmiten entre células (dada la pared celular de las células vegetales), y mucho menos entre individuos.

PRIONES:

De estos “organismos” sabemos aún menos. Se descubren en 1983 como agentes causantes de afecciones neuronales esporádicas. Ahora aumenta su interés debido al mal de las vacas locas.

Es una partícula infecciosa proteínica (proteína patológica). Las pruebas obtenidas hasta el momento parecen indicar que el prión carece de ácido nucleico.

Se conocen dos enfermedades causadas por priones: **La Tembladera**, una alteración neurológica de ovejas y cabras, conocida desde el siglo XVII y la **enfermedad de CreutzfeldJacob**, una rara demencia humana. Los priones también se consideran agentes probables de otras enfermedades humanas que afectan al sistema nervioso: el **Kuru**, observado sólo en tribus de Nueva Guinea, asociándose al canibalismo tradicional (la enfermedad fue desapareciendo conforme cesaban las prácticas necrófagas).

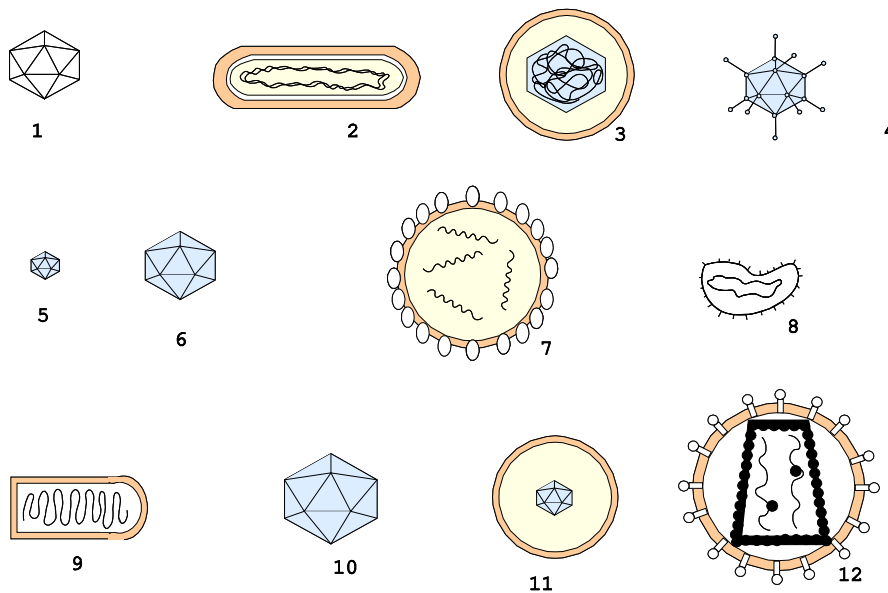
La enfermedad de CreutzfeldJacob en individuos menores de 35 años se relacionó con el consumo de subproductos de vacas enfermas, que estaban alimentadas con piensos fabricados con restos de ovejas con tembladera.

La infección por priones no provoca una respuesta inmunitaria, debido a que el prión está dentro de nuestras propias células. El agente causante es una proteína propia de la membrana plasmática de las neuronas. Se sabe que está codificada por un gen del cromosoma 20. Esta proteína sufre una alteración que la convierte en patológica (prión). Las proteínas defectuosas actúan como agentes infecciosos que cambian las proteínas normales en defectuosas. La aparición de la demencia es consecuencia de que se acumulan cristalizadas en las neuronas provocando su destrucción y muerte.

Comparando las dos proteínas, normal y patológica, se comprueba que tienen la misma secuencia de aminoácidos (estructura primaria), pero tienen un plegamiento distinto.

Se han encontrado casos de transmisión hereditaria de la enfermedad, debido a una mutación puntual que implica modificación en la estructura primaria de la proteína, sustituyéndose una prolina por una leucina.

Clasificación y ejemplos de virus de células animales: 1) Papovavirus (verrugas); 2) Poxvirus (viruela); 3) Herpesvirus (herpes); 4) Adenovirus; 5) Parvovirus; 6) Reovirus; 7) Ortomixovirus (gripe); 8) Paramixovirus (paperas, sarampión); 9) Rabdovirus (rabia); 10) Picornavirus (polio); 11) Togavirus (rubéola); 12) Retrovirus (S.I.D.A).



CLASIFICACIÓN DE LOS VIRUS (Sólo para consultar).

Los criterios básicos de clasificación son el tipo de ácido nucleico que contienen, el tipo de cápsida, la posesión de envolturas membranosas y el tipo de célula a la que parasita. Según este último criterio existen virus animales, virus vegetales y virus bacterianos o bacteriófagos. Las características más frecuentes de cada grupo son:

Clasificación de los virus parásitos de células animales (virus ADN)					
Nº	Familia	Ácido nucleico	Envoltura	Género y especie	Enfermedad
1	Papovaviridae (Papovavirus)	ADN-bc circular	Desnudos	Virus del papiloma humano	Verrugas
2	Poxviridae (Poxvirus)	ADN-bc circular	Envueltos	Virus de la viruela	Viruela
3	Herpesviridae (Herpesvirus)	ADN-bc lineal	Envueltos	Virus de herpes simple I y II	Grietas en los labios y herpes genital
				Virus de la varicela zoster	Varicela y herpes zoster
4	Adenoviridae (Adenovirus)	ADN-bc lineal	Desnudos	Adenovirus humano	Infecciones respiratorias, entéricas y oftálmicas
5	Parvoviridae (Parvovirus)	ADN-mc lineal	Desnudos	Virus adenoasociados	Infecciones en roedores

Nº	Familia	Ácido nucleico	Envoltura	Género y especie	Enfermedad
6	Reoviridae (Reovirus)	ARN-bc	Desnudos	Rotavirus	Diarreas infantiles
7	Orthomixoviridae (Orthomixovirus)	ARN-mc	Envueltos	Virus de la gripe	Gripe
8	Paramixoviridae (Paramixovirus)	ARN-mc	Envueltos	Virus de la parotiditis	Paperas (parotiditis)
				Virus de sarampión	Sarampión
9	Rhabdoviridae (Rabdovirus)	ARN-mc	Envueltos	Virus de la rabia	Rabia
10	Picornaviridae (Picornavirus)	ARN-mc	Desnudos	Enterovirus (virus de la polio, Coxsakie y Echo)	Polio, miocarditis, pericarditis, gastroenteritis, meningoencefalitis.
11	Togaviridae (Togavirus)	ARN-mc	Envueltos	Virus de la rubéola	Rubéola
12	Retrovirus (Retrovirus)	ARN-mc	Envueltos	Virus de la inmunodeficiencia humana (VIH-1 y VIH-2)	SIDA
				Virus de la leucemia de las células T	Leucemia de las células T

MICROORGANISMOS CON ORGANIZACIÓN CELULAR EUCARIOTA.

5. PROTOZOOS.

Son organismos formados por una sola célula, es decir, poseen la estructura típica de una célula eucariótica animal, aunque en ocasiones presenta una mayor complejidad en su organización. Tienen una membrana plasmática que los rodea y delimita, algunos forman un caparazón duro, calizo o silíceo, o bien una fina envoltura de quitina.

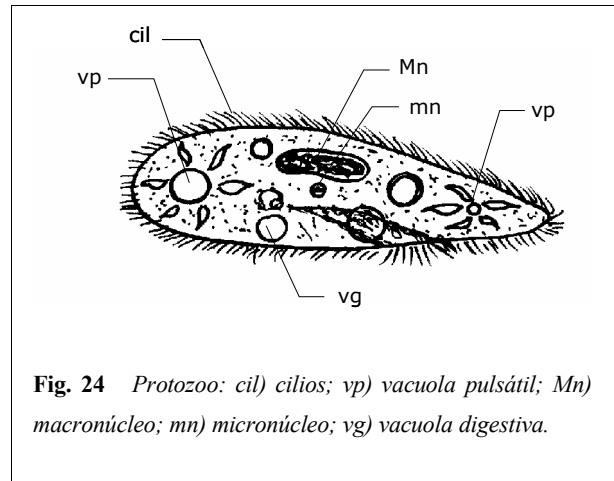
Su forma y tamaño son variables, pero casi todos ellos son microscópicos por lo que deben observarse al microscopio.

Algunos viven libres en aguas dulce o saladas. Cuando se deseca el medio en que viven forman un caparazón y se enquistan. Otros viven parásitos en animales o vegetales produciendo enfermedades, o bien, simbiosis con ellos.

Se suelen reproducir por bipartición simple, aunque algunos tienen otras modalidades e incluso se conocen procesos de reproducción sexual.

Estudio de un protozoo.

Mirando con el microscopio una infusión o agua de una charca puede observarse fácilmente el **paramecio** (*Paramecium ssp.*). Tiene forma de suela de zapato y de su cuerpo salen muchos cilios, dispuestos en filas a lo largo de toda su superficie, que le sirven para nadar. A un lado del cuerpo hay una abertura, la boca o **citostoma**, que da acceso a un embudo que se estrecha hacia el interior. Sirve para su alimentación: con los cilios provoca un remolino que arrastra las partículas alimenticias hacia el fondo del embudo, donde se forma un **vacuola digestiva** que engloba las partículas ingeridas.



En su citoplasma podemos distinguir:

- * Unas pequeñas cavidades esféricas, más o menos numerosas, llamadas vacuolas digestivas.
- * En cada extremo del cuerpo se halla una **vacuola pulsátil**, de forma estrellada, que presenta movimientos rítmicos de contracción y cuya misión es expulsar de la célula los productos de deshecho de la digestión y agua.
- * Un par de núcleos: uno grande (**macronúcleo**) y otro pequeño (**micronúcleo**).

Se reproducen asexualmente por división simple. Se han observado procesos sexuales (conjugación) en los cuales dos paramecios se unen por el citostoma y a través de él realizan un intercambio de material nuclear, separándose después. Aunque en este proceso no haya variación numérica, se considera una reproducción sexual por el intercambio de material nuclear, que es lo esencial de la sexualidad.

Cuando falta agua, se rodea de una membrana gruesa, donde permanece con vida latente, pudiendo resistir largas temporadas hasta que nuevamente haya agua, este proceso se conoce como **enquistamiento**.

Los protozoos que presentan cilios para su movimiento se conocen con el nombre de **ciliados**. Otros ciliados que abundan en al agua de charcas son:

* **Las Vorticelas**, con cuerpo en forma de campana y un largo pedúnculo que puede arrollarse en espiral como un muelle. Forman colonias.

* **Los Stentor**, con forma de trompeta, que pueden medir hasta 1 mm. Se suelen fijar a raíces, etc. por su extremo puntiagudo.

Otros protozoos.

* **La Ameba**, que vive en las charcas. Forma gruesos pseudópodos para moverse y capturar su alimento: bacterias, algas, etc. Los protozoos que forman pseudópodos se denominan rizópodos. Además de la ameba existe *Entamoeba histolytica* que es parásita del hombre donde origina la disentería amebiana

* **Trypanosoma**, protozoo de forma alargada y con un largo flagelo para su movimiento. Vive parásito en la sangre de algunos mamíferos africanos de donde puede pasar al hombre por picadura de la mosca tsetse. En el hombre origina la enfermedad del sueño.

Los protozoos con flagelos se denominan **flagelados**.

* **Plasmodium**, que produce en el hombre la enfermedad de la malaria o paludismo. Se introduce en la sangre mediante la picadura de la hembra del mosquito *Anopheles*, quien a su vez lo toma de otros individuos enfermos. De esta forma la enfermedad se transmite de individuos enfermos a otros sanos por la picadura del mosquito. El plasmodio, una vez en la sangre, pasa al interior de los glóbulos rojos donde se divide por esporulación y destruye las células sanguíneas.

6. ALGAS MICROSCÓPICAS UNICELULARES.

Son las algas formadas por una sola célula, viven en el agua y son capaces de realizar la fotosíntesis. Entre ellas podemos citar las **Diatomeas** que son algas de color amarillo que viven tanto en el mar como en el agua dulce y poseen un caparazón de sílice (frústula) constituido por dos piezas que encajan como una caja y su tapadera. Algunas algas unicelulares poseen flagelos merced a los cuales se mueven en el agua como es el caso de la *Euglena viridis*. Las algas unicelulares forman parte importante del llamado plancton.



Fig. 25 *Diatomea*.

7. HONGOS MICROSCÓPICOS.

Bajo esta denominación se incluye un amplio grupo de organismos de gran heterogeneidad. Entre las características comunes a todos los hongos pueden destacarse dos:

- a) Estar formados por una o más células eucariotas.
- b) Encontrarse desprovistos de clorofila u otro pigmento fotosintético.

Los hongos son organismos **heterótrofos** que necesitan para su nutrición sustancias orgánicas ya elaboradas; la mayoría son **saprófitos** (desarrollándose sobre materia orgánica en descomposición), otros son **parásitos** produciendo enfermedades en el hombre y otros animales y vegetales.

Dentro de los hongos podemos encontrarlos unicelulares (**levaduras**) y pluricelulares (**mohos**), estos tienen una estructura denominada "talo" y que suele estar constituida por una serie de filamentos denominados "**hifas**", que pueden ser ramificadas y tabicadas, formando, en su conjunto, una estructura denominada "**micelio**".

Su reproducción puede ser sexual o asexual (gemación, esporulación, fragmentación) y su clasificación es compleja y se puede realizar atendiendo a diferentes caracteres

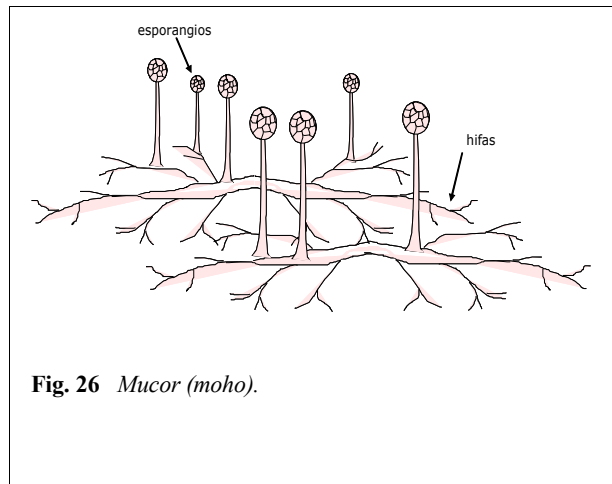


Fig. 26 *Mucor (moho)*.

APLICACIONES Y SU PAPEL EN EL ECOSISTEMA.

El papel que los hongos ejercen en la naturaleza resulta de gran importancia, sobre todo si tenemos en cuenta su actividad descomponedora en los ecosistemas (reciclaje de materia orgánica) y también forman parte fundamental en la actividad humana, así es conocido su papel en la alimentación humana, en la agricultura, silvicultura, industria química, enfermedades humanas...etc.

Los hongos son capaces de descomponer algunos materiales fabricados y usados por el hombre a partir de materiales de origen orgánicos (vegetal y animal); reciclan por tanto estos materiales como si se tratara de la materia orgánica que forma parte del ecosistema (biodeterioro).

Por otra parte, desde hace cientos de años el hombre ha utilizado diferentes especies de hongos para la transformación de alimentos, un claro ejemplo son las levaduras utilizadas en la elaboración de la cerveza y del vino (*Saccharomyces*), de los quesos (algunas especies de *Penicillium*), del pan...etc.

Los hongos son muy importantes en la industria química como productores de numerosas sustancias como vitaminas, cortisonas, ácidos orgánicos y sobre todo antibióticos (en este sentido cabe recordar que la penicilina fue descubierta por Fleming a partir de una especie de *Penicillium*).

Los hongos también pueden ser agentes patógenos directos sobre el ser humano, son causantes de numerosas micosis superficiales en la piel, uñas, pelo, etc. y micosis profundas con mayor riesgo para la salud. También puede haber alergias micógenas provocando molestias respiratorias (por las esporas).

8. INTERVENCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS EN LAS TRANSFORMACIONES O CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.

Las bacterias y los hongos son los microorganismos que, junto a los productores, permiten la existencia del **ciclo de la materia** en la biosfera. Su función es **descomponer** la materia orgánica procedente de restos vegetales, cadáveres y excrementos, convirtiéndola en materia inorgánica que vuelve a ser utilizada por los productores.

La actividad de los descomponedores en la biosfera permite que la materia se recicle y no se disperse en las sucesivas transferencias, como ocurre con la energía.

Muchos de los elementos químicos que componen los materiales terrestres están sometidos a unos circuitos cíclicos que consisten, básicamente, en que pasan de formar parte de materia inorgánica inerte a formar parte de materia constitutiva de seres vivos y de éstos, posteriormente, de nuevo a materia inorgánica inerte, cerrándose el ciclo. Estos ciclos de la materia son los **ciclos biogeoquímicos**.

Como ejemplos de ciclos biogeoquímicos, y el papel que desempeñan los microorganismos en ellos, estudiaremos el **ciclo del carbono y el ciclo del nitrógeno**:

Ciclo del carbono

Mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas toman el carbono en forma de CO₂ de la atmósfera o del agua, asimilándolo durante la fase oscura de dicho proceso para formar moléculas orgánicas. Parte del carbono vuelve al medio inerte en la misma forma de CO₂ como resultado de la respiración tanto de las propias plantas como de los organismos consumidores y descomponedores. Los desechos, restos o cadáveres que contienen carbono vuelven también al medio inorgánico por acción de los **descomponedores (bacterias y hongos)**.

Una parte muy importante del carbono, puede tardar millones de años en incorporarse al medio inerte. Es el caso del carbono que llega a formar parte del petróleo y del carbón mineral. Este carbono puede volver al ciclo por combustión de estos combustibles fósiles.

Ciclo del nitrógeno

La fuente principal de nitrógeno es la atmósfera, de la que este gas constituye un 78%; sin embargo, este nitrógeno atmosférico sólo puede ser fijado por un grupo de **bacterias fijadoras del nitrógeno** que transforman este gas en compuestos nitrogenados utilizados directamente por las plantas. Entre el grupo de bacterias fijadoras del nitrógeno está el género *Rhizobium* que se encuentra en simbiosis con las raíces de las plantas leguminosas (guisantes, judías, tréboles, alfalfa, etc.), estas bacterias se introducen en los tejidos del vegetal, donde proliferan y desarrollan una especie de nódulos fijadores del nitrógeno.

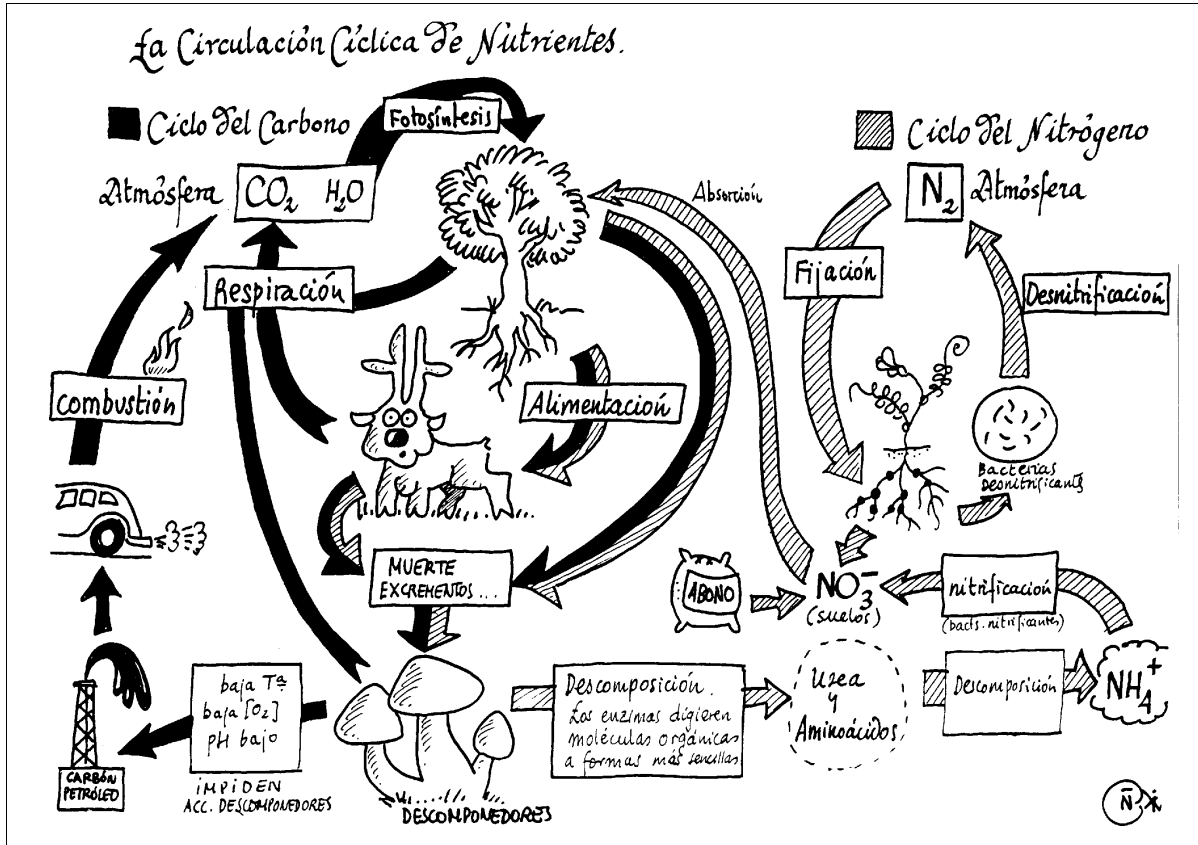
El resto de las plantas depende del nitrógeno que se encuentra en el suelo, de donde lo toman en forma de nitratos.

Cuando cualquier organismo muere, el nitrógeno de los restos orgánicos, como son las proteínas y los ácidos nucleicos, por acción de bacterias y hongos presentes en el suelo, se convierte en amoníaco o ión amonio (**amonificación**).

Otros grupos de bacterias del suelo oxidan los **iones amonio** a **nitritos** y finalmente las **bacterias nitrificantes** oxidan los **nitritos** a **nitratos**. Los nitratos son ya fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas y

utilizados para formar moléculas propias, que contienen nitrógeno (proteínas y ácidos nucleicos). Mediante las cadenas tróficas posteriores, el nitrógeno asimilado en estas moléculas del vegetal pasa a los animales.

Existe un grupo de **bacterias desnitrificantes** que en condiciones anaerobias y de inundación convierten los nitratos del suelo en nitrógeno molecular que escapa a la atmósfera. Por eso los agricultores drenan las tierras para reducir la desnitrificación y añaden fertilizantes para incrementar los niveles de nitrato del suelo.



9. LOS MICROORGANISMOS COMO AGENTES DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS

La mayoría de los microorganismos son inocuos para los demás seres vivos. Muchos de ellos incluso se han adaptado a las condiciones especiales que tienen los tejidos de los animales, viviendo en ellos, en su piel, en sus conductos digestivos o respiratorios; son la denominada **flora normal**. Sin embargo, los microbios más conocidos son aquellos que producen enfermedades infecciosas en las plantas, en los animales y en la especie humana; estos son los **microorganismos patógenos**.

El grado de patogenidad se denomina **virulencia** y se mide, generalmente, por el número de microorganismos necesarios para desarrollar la enfermedad. Hay microorganismos que normalmente no son patógenos pero pueden serlo cuando disminuyen los mecanismos defensivos de un animal: son los **microorganismos oportunistas**.

Robert Koch (1843-1910) fue el primero en comprobar que una bacteria era la causante de una enfermedad infecciosa, el carbunco en ovinos. Estableció cuatro postulados que constituyen la base de las investigaciones médicas para establecer el tratamiento de las infecciones:

- 1) El organismo específico ha de encontrarse siempre asociado a la enfermedad.
- 2) El organismo tiene que ser aislado y obtenido en cultivo puro en el laboratorio.
- 3) Este cultivo puro inoculado en un animal susceptible de ser infectado produce la enfermedad.
- 4) Se debe recuperar el organismo del animal infectado experimentalmente en cultivo puro.

Otros aportes de la labor investigadora de Koch fueron el descubrimiento de los cultivos en medios sólidos y el descubrimiento de los agentes causantes de la tuberculosis (llamado desde entonces bacilo de Koch) y del cólera.

Vías de infección.

El primer paso en una infección es la colonización por parte de los microorganismos de tegumentos y mucosas corporales, donde deben competir con otros microorganismos comensales. Los que superan esta primera fase con más éxito son los que producen las enfermedades más contagiosas.

La entrada de microorganismos en el cuerpo del hospedador puede tener lugar a través de distintas vías:

Heridas o abrasiones en los tegumentos.

Roturas microscópicas en las mucosas.

Picaduras de artrópodos.

Adherencia específica del microorganismo a las células del hospedador y paso a través de células epiteliales.

En determinadas circunstancias, algunos microorganismos forman colonias muy numerosas en los tegumentos, las cuales son responsables de una lesión epitelial, produciéndose inflamación y rotura, a través de la cual penetran.

Una vez dentro, los microbios tienen que reproducirse, ya sea en una lesión superficial, ya sea en un tejido específico al que son conducidos por vía linfática o sanguínea. En esta primera fase tienen que superar los mecanismos defensivos del hospedador, lo que incluye la inflamación, la detención en los ganglios linfáticos y su eliminación de la sangre por acción de los fagocitos. Si consiguen superarlos, se desarrolla la enfermedad. El tiempo que

transcurre desde que penetran hasta la manifestación de los síntomas de enfermedad se denomina **período de incubación**.

Las infecciones pueden ser **superficiales**, si el microorganismo se multiplica en las células epiteliales de la zona de entrada, o **sistémicas** si alcanzan los vasos sanguíneos y se multiplican en varios órganos a la vez.

Factores de patogenicidad. Toxinas

Según la infección va progresando, se empiezan a manifestar los síntomas de la enfermedad. Esto nos indica que el hospedador ya ha sufrido una lesión por diversas causas:

* La proliferación de los microorganismos

El crecimiento del número de células microbianas puede conllevar dos clases de peligro: de un lado, se puede crear una competencia entre el microbio y las células del hospedador por un determinado nutriente; de otro lado, se puede producir el bloqueo de vasos sanguíneos o un daño directo sobre las células del hospedador

* Producción de **toxinas**.

Las **toxinas** son sustancias venenosas de bajo peso molecular, que pueden ser excretadas al medio (**exotoxinas**), como la del botulismo o el tétanos, o retenidas dentro de la célula (**endotoxinas**). Estas toxinas pueden provocar daños locales, cuando son muy específicas, o difundirse y causar lesión sistémica.

*La producción de **enzimas extracelulares** como la lecitinasa que hidroliza los lípidos de membrana de las células huésped; las hemolisinas que lisan los glóbulos rojos, liberando al plasma su hemoglobina, etc.

Enfermedades infecciosas de la especie humana (ver cuadro adjunto, sólo como información complementaria para consultar.)

V BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología es el conjunto de procesos industriales que se sirve de microorganismos o de células procedentes de animales o vegetales para obtener determinados productos comerciales o para realizar importantes transformaciones químicas.

La biotecnología se ocupa, entre otros, de procesos tan diferentes como la clonación, la terapia génica, la inseminación *in vitro*, la obtención de bebidas alcohólicas, etc.

Aunque el término es moderno, reúne técnicas y métodos conocidos desde la antigüedad. Por ejemplo, la fabricación del pan, que ya realizaban los antiguos egipcios, la mejora de las razas de animales y la obtención de plantas con mayor producción de frutos.

El término biotecnología se comenzó a usar a finales de los años setenta, tras la aparición de la ingeniería genética, que se basa en la manipulación del material genético de las células.

En la actualidad, con la expansión de la biotecnología y los métodos de manipulación genética, los microorganismos han sido modificados para fabricar productos útiles que los microorganismos no producen de manera natural.

10. BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE.

Diversas técnicas biotecnológicas permiten resolver, de diferentes y novedosas maneras, el problema de la contaminación ambiental.

Se pueden utilizar diversos microorganismos para afrontar problemas de tratamiento y control de la contaminación química de distintos ecosistemas. La ingeniería genética permite combinar las características de estos microorganismos para aumentar su eficacia o generar microbios recombinantes con nuevas características.

Aunque muchos microorganismos diferentes juegan un papel esencial en los equilibrios ambientales, la mayoría de las aplicaciones biotecnológicas actuales se realizan con ciertos tipos de bacterias.

Algunas de las aplicaciones de la biotecnología a la mejora del medio ambiente son las siguientes:

Eliminación de metales pesados.

Eliminación de mareas negras.

Obtención de energía no contaminante.

Tratamiento de residuos urbanos e industriales.

Tratamiento de diferentes tipos de contaminación asociados a la industria del petróleo.

Tratamiento de la contaminación producida por herbicidas, pesticidas e insecticidas.

Depuración de aguas residuales.

Control de mareas negras

Se llama marea negra al vertido masivo de petróleo debido a un accidente durante el transporte del petróleo en grandes barcos.

Es posible utilizar bacterias que digieren los hidrocarburos que forman el petróleo y los transforman en sustancias químicas nada o menos contaminantes. Aunque generalmente cada tipo de bacteria utiliza una clase de hidrocarburo, se intenta combinar las características de varias bacterias para conseguir una bacteria recombinante capaz de transformar muchos hidrocarburos diferentes.

11. BIOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA MEJORA DE LA SALUD.

La biotecnología tiene en la salud humana, entre otros, los siguientes campos de aplicación:

Prevención de enfermedades hereditarias.

Terapia génica.

Producción de vacunas.

Obtención de anticuerpos monoclonales e interferones.

Producción de hormonas (por ejemplo insulina y hormona del crecimiento).

Producción de antibióticos y otros productos farmacéuticos.

Antibióticos

La palabra antibiótico designa a aquellas sustancias que, producidas por determinados microorganismos, pueden acabar con la vida de otros. En 1929, Alexander Fleming descubrió estas sustancias.

Estaba trabajando con *Staphylococcus aureus* y su cultivo se contaminó con un hongo del género *Penicillium*, de forma que las colonias rodeadas por éste morían. Fleming supuso que el hongo producía alguna sustancia antibacteriana, por lo que hizo un filtrado, descubriendo así, la **penicilina**. Fue incapaz de purificarla, dado que era químicamente inestable, lo que se hizo años más tarde, gracias al desarrollo de un proceso industrial adecuado.

Desde 1945 se han aislado cientos de antibióticos producidos por hongos del género *Penicillium* y bacterias de los géneros *Bacillus* y *Streptomyces*.

El gran problema de la actualidad es que han comenzado a desarrollarse a un ritmo alarmante cepas de patógenos resistentes a antibióticos e, incluso, cepas multirresistentes a varios antibióticos simultáneamente, por lo que hay que encontrar otros nuevos, o modificar los existentes para que recobren su eficacia, lo que constituye el gran reto de la biotecnología.

Hormonas

Las personas que sufren diabetes mellitus deben inyectarse **insulina** varias veces al día. Hasta 1983 la insulina que utilizaban las personas diabéticas era insulina de cerdo purificada (diferente de la humana). Desde esa fecha se utiliza insulina obtenida por ingeniería genética: se ha introducido el gen de la insulina humana en la bacteria *Escherichia coli*, que la produce en cantidades masivas y con las mismas características. La insulina es la primera proteína fabricada por ingeniería genética y comercializada.

También por ingeniería genética se obtiene la **hormona del crecimiento**.

Otras hormonas como la **testosterona** y **progesterona**, hormonas sexuales masculina y femenina, utilizada ésta última en la fabricación de fármacos anticonceptivos se obtienen de la fermentación de ciertas levaduras.

12. BIOTECNOLOGÍAS DE LOS ALIMENTOS.

El hombre desde la antigüedad ha obtenido productos alimenticios con la intervención de los microorganismos, a pesar de desconocer su existencia. Hoy día gracias al conocimiento de sus características y metabolismo, son explotados industrialmente en la fabricación de numerosos alimentos y bebidas. Por ejemplo:

- Pan.
- Yogur.
- Queso.
- Mantequilla.
- Vinagre.
- Vino.
- Cerveza.
- Encurtidos.
- Producción de proteínas para piensos de animales domésticos.
- Síntesis de vitaminas que se añaden a los alimentos o en compuestos farmacéuticos. (Por ejemplo la vitamina B₁₂ es producida industrialmente a partir de bacterias y la riboflavina es producida por diversos microorganismos como bacterias y hongos).
- Síntesis de aminoácidos que se utilizan como aditivos alimentarios. (Ejemplos de aminoácidos producidos por fermentación microbiana son el ácido glutámico, la lisina, la glicina, la metionina y la alanina).
-
- Fabricación del yogur

Se utiliza leche, que fermenta mediante determinadas cepas de las bacterias *Lactobacillus* y *Streptococcus* que transforman la lactosa en ácido láctico. El ácido láctico es el causante de la precipitación de las proteínas de la leche. Ambos microorganismos necesitan una temperatura de 45°C para desarrollarse al máximo, por eso la leche se envasa en caliente para que después siga el proceso de fermentación en la estufa a dicha temperatura. El pH del yogur (después del enfriamiento a 4 °C) es alrededor de 4, este medio ácido impide el crecimiento de otras bacterias.

Actualmente la producción de yogures se ha especializado en gran cantidad de sabores e incluso en el enriquecimiento de nuevas bacterias.

Fabricación de cerveza

Es un proceso que se conoce desde antiguo, ya que, al parecer, los babilonios fueron los primeros en elaborar la cerveza.

Se basa en la fermentación alcohólica que realizan las levaduras del género *Saccharomyces*.

La cerveza se obtiene por fermentación de la cebada realizada por las levaduras *S. cerevisiae* o *S. carlsbergensis*. Los granos de cebada se ponen a remojo, de forma que germinan y generan amilasas suficientes que hidrolizan el almidón. Después se secan, lo que constituye la malta, la cual se puede almacenar hasta su uso. Con la malta se obtiene el mosto de cerveza, al cual se adiciona el lúpulo, encargado de dar a la cerveza el sabor amargo y de conservarla del crecimiento bacteriano. Es entonces cuando se añade el inóculo, que fermenta durante cinco a diez días a temperatura y pH adecuados.

VI INMUNOLOGÍA

1.- CONCEPTO DE INMUNIDAD

Conjunto de mecanismos que un individuo posee para enfrentarse a la invasión de cualquier cuerpo extraño y para hacer frente a la invasión de tumores. Esta cualidad se adquiere antes del nacimiento y se madura y afianza en los primeros años de vida.

Este sistema, presente en vertebrados, alcanza su máxima complejidad en los primates y seres humanos. En los vertebrados implica que los organismos diferencian lo propio de lo ajeno, es decir, reconocen todos sus tipos celulares.

La ciencia encargada de estos procesos se denomina inmunología.

2.- EL SISTEMA INMUNE

Es un sistema biológico complejo. Se encuentra distribuido por todos los órganos y fluidos vasculares e intersticiales, excepto el cerebro, concentrándose en órganos especializados como médula ósea, bazo, timo y nódulos linfáticos.

Presenta componentes celulares (linfocitos, macrófagos y granulocitos) y moléculas solubles (anticuerpos, linfocinas y complemento).

Es el responsable de conferir la inmunidad al actuar de manera coordinada todos sus componentes.

Las células y las moléculas que participan en la defensa inmune llegan a la mayor parte de los tejidos por el torrente sanguíneo que también puede abandonar a través de las paredes de los capilares, pueden circular por el sistema linfático y regresar de nuevo al sanguíneo.

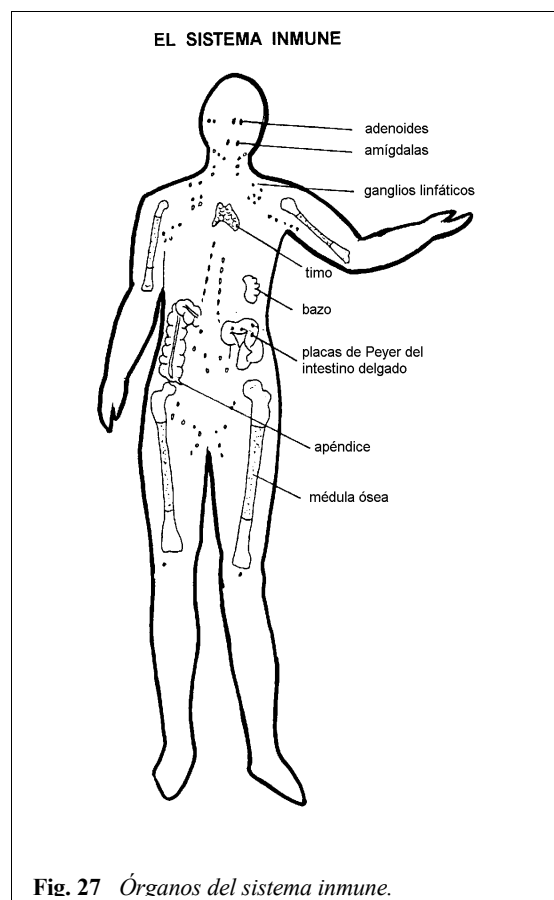


Fig. 27 Órganos del sistema inmune.

3.- DEFENSAS DEL ORGANISMO FRENTE A LA INFECCIÓN

A. RESPUESTA INESPECÍFICA O MECANISMOS INNATOS

- Barreras naturales
- Respuesta celular inespecífica

B. RESPUESTA ESPECÍFICA O MECANISMOS ADQUIRIDOS

- Respuesta celular

Respuesta humoral

3A.- RESPUESTA INESPECÍFICA

A.1.- BARRERAS NATURALES:

Las barreras naturales impiden la entrada de forma indiscriminada a cualquier tipo de organismo extraño. Pueden ser:

Ø **Físicas.** La **piel** es una superficie impermeable para la mayoría de los microorganismos. Su capa córnea más externa actúa como barrera mecánica, excepto cuando se producen en ella heridas o quemaduras. En las cavidades internas son las **mucosas** las que realizan esta función.

Ø **Químicas.** Las superficies mucosas, como las bucales, las nasales o las conjuntivas, dan origen a las secreciones como la **saliva**, los **mocos** o las **lágrimas**, que contienen lisozima de acción bactericida (destruye bacterias). El **sudor** y las **secreciones sebáceas** contienen sustancias antivíricas y antibacterianas. El **pH** del estómago, como el de la vagina son ácidos, lo que asegura la destrucción de los microorganismos que lleguen a estas zonas. Por último, las **secreciones del tracto respiratorio** y el movimiento de los cilios impiden el paso de sustancias y de organismos extraños al interior de los pulmones

Ø **Flora** autóctona. Los microorganismos presentes en nuestro organismo impiden que otros se instalen segregando sustancias o estableciendo competencia por los nutrientes.

El fracaso de éstas barreras pone automáticamente en marcha otros tipos de defensa.

A.2.- RESPUESTAS CELULAR INESPECÍFICA:

La respuesta celular inespecífica se activa cuando los microorganismos atraviesan las barreras naturales y penetran en los tejidos más profundos, produciendo la infección. Inmediatamente entran en acción determinadas células conocidas como **fagocitos**, nombre que proviene del griego y significa “comedores de células”. Los fagocitos son ciertos tipos de glóbulos blancos que se forman en la médula ósea roja y son los neutrófilos y los monocitos. Los **neutrófilos** están siempre alerta ante la invasión de sustancias u organismos extraños, siendo los primeros que actúan como defensa, abandonando los vasos sanguíneos para dirigirse a los tejidos que han sufrido una agresión. Estas células tienen una vida media de seis horas y nuestro organismo produce del orden de 10^8 neutrófilos/día. Los **monocitos** son células idénticas a los macrófagos que se encuentran en los tejidos. De hecho, estos fagocitos reciben el nombre de monocitos sólo mientras están en el sistema circulatorio, y se denominan **macrófagos** cuando se encuentran en los tejidos dañados haciéndose más grandes, ameboides y fagocíticos. Los macrófagos se encuentran también en los ganglios linfáticos, bazo, hígado, pulmones y tejidos conectivos, constituyendo el **Sistema Retículo Endotelial**.

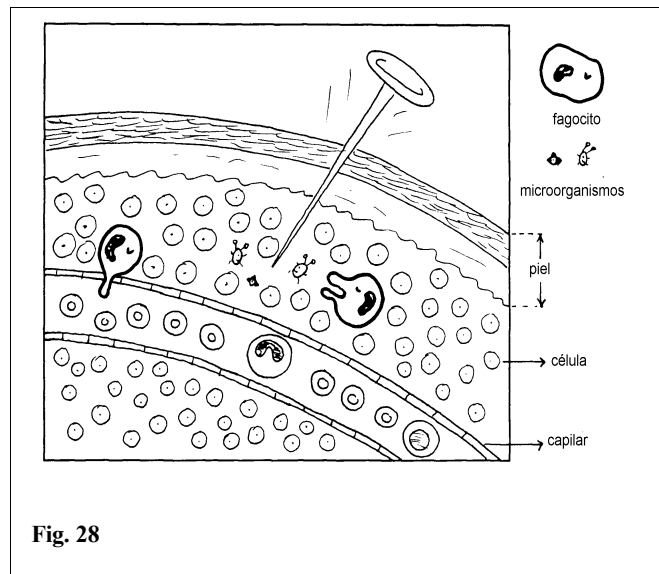


Fig. 28

Como veremos más tarde estos fagocitos interactúan con los linfocitos, que son las células del sistema inmunitario. También se consideran como respuestas inespecíficas las llevadas a cabo por las **células Natural Killer (NK)**, moléculas químicas como el **interferón** y el **sistema del complemento**, que colaboran con las respuestas específicas (se verán más adelante).

A.3.- LA INFLAMACIÓN

La inflamación se desencadena cuando por alguna causa los gérmenes atraviesan las barreras naturales y logran llegar al tejido conectivo subepitelial.

Metchnikoff, en 1884, fue el primero en reconocer la importancia de la fagocitosis como defensa del organismo frente a la infección. ***Cuando los tejidos del cuerpo son dañados por microorganismos patógenos, el organismo responde mediante el complejo sistema de la inflamación***, que facilita el encuentro entre los microbios invasores y los fagocitos. Los *síntomas* de la inflamación son: *calor, color y tumor o tumefacción*.

La inflamación y por tanto el mecanismo de fagocitosis, se inicia con la movilización de las células fagocitarias hacia las zonas dañadas. Éste movimiento se ve favorecido por una serie de factores como son:

- ***La dilatación de los vasos sanguíneos y el aumento de permeabilidad de los capilares.*** Las células dañadas liberan histamina y otras sustancias que inducen el aumento del flujo sanguíneo y la salida del suero y de los fagocitos que avanzan hacia las zonas dañadas.
- ***La quimiotaxis positiva o movimiento de neutrófilos y macrófagos hacia los puntos de infección,*** estimulados por sustancias químicas segregadas por los propios patógenos. Una vez localizados los microbios patógenos, los fagocitos los digieren y destruyen. A lo largo de éste proceso se acumulan neutrófilos y macrófagos tanto vivos como muertos, que junto con los cadáveres de los microorganismos y el suero sanguíneo constituyen el **pus**.

3B.- RESPUESTA INMUNOLÓGICA ESPECÍFICA

La respuesta inmunitaria específica la lleva a cabo el sistema inmunitario, formado básicamente por miles de millones de células llamadas **linfocitos** y por moléculas de proteínas, los **anticuerpos**.

Una de las características del sistema inmunitario es que nos provee de defensas ante los parásitos, órganos trasplantados, células cancerosas y sustancias tóxicas fabricadas por ellos. Es de todos conocido el hecho de que si nos curamos de una enfermedad como puede ser el sarampión, se debe a que hemos desarrollado unas defensas frente a ese virus concreto y que utilizaremos si nuevamente penetra éste en nuestro organismo, pero que no nos servirá de nada ante la posible invasión de un agente patógeno diferente.

Otro rasgo fundamental del sistema inmunitario es que tiene la capacidad de distinguir lo propio de lo extraño, alcanzando una alta eficacia especialmente en los mamíferos.

Durante las primeras fases del desarrollo embrionario, aprende y a ésta capacidad se le llama *“tolerancia inmunológica”*, que ***cuando se pierde*** da lugar a las ***enfermedades autoinmunes***. En ocasiones pueden producirse reacciones de hipersensibilidad. Todas las moléculas que son capaces de activar el sistema inmunitario reciben el nombre de **antígenos**. En principio, cualquier molécula ajena al organismo es reconocida por el sistema inmunitario, que desencadena la respuesta inmunológica.

La respuesta inmunitaria la llevan a cabo directamente los linfocitos, un tipo de glóbulos blancos que se forman en la médula ósea roja, a partir de células precursoras indiferenciadas.

Existen dos tipos de linfocitos:

- Linfocitos B
 - Linfocitos T
- Los **linfocitos T** llevan a cabo la *respuesta inmunitaria mediada por células*. Esta respuesta supone la destrucción de antígenos extraños que se encuentran sobre la superficie de las células huésped, bien directamente por los linfocitos, o porque éstos inducen a otras células a hacerlo.
Los linfocitos T maduran y se diferencian en el timo, órgano linfoide que en el hombre se encuentra en el pecho, inmediatamente detrás del esternón.
 - Los **linfocitos B** fabrican **anticuerpos**, proteínas que actúan de forma específica ante la presencia de un antígeno. Estos anticuerpos segregados por los linfocitos B se vierten a la circulación general y se unen específicamente a los antígenos responsables de su formación. Este tipo de respuesta inmunitaria se llama *respuesta inmunitaria humoral*.
Los linfocitos B se originan independientemente del timo. En las aves, estas células maduran en la bolsa o bursa de Fabricio. El equivalente *en mamíferos* a la bursa no se conoce exactamente, aunque se han sugerido algunos órganos como las *amígdalas*, las *placas Peyer* del intestino o la propia *médula ósea*.

Como hemos dicho, estos tipos de glóbulos blancos se forman en la médula ósea roja, a partir de células madres hematopoyéticas y pluripotenciales, que dan lugar a todo tipo de células.

Los linfocitos no son fagocitos y circulan con movimiento ameboide tanto por el sistema linfático como por el sanguíneo; llegan a la mayoría de los tejidos atravesando las paredes de los capilares, pudiendo regresar de nuevo a su propio sistema vascular, el sistema linfático.

Como el resto de las células inmunitarias, están diseminadas por todo el organismo como células aisladas o como agregados difusos y se encuentran principalmente en los tractos gastrointestinales y respiratorios, o en el interior de los órganos linfoides.

Ambos tipos de linfocitos son morfológicamente exactos, es decir, imposibles de distinguir a nivel microscópico. Son células con un gran núcleo central. Se diferencian cuando entran en contacto con un antígeno, que los estimula a proliferar y desarrollarse.

Los linfocitos B cambian de morfología y se convierten en células plasmáticas secretoras de anticuerpos con un RER (retículo endoplasmático rugoso) muy desarrollado.

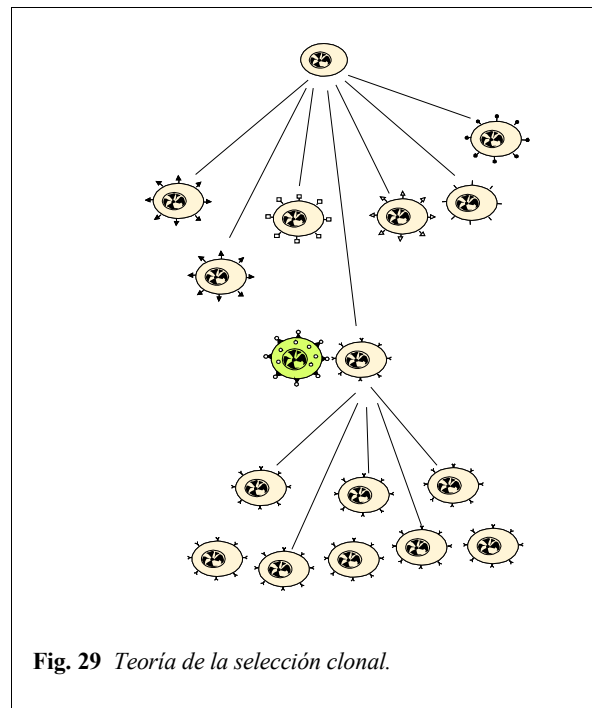
3B.1.-LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN CLONAL

Como ya hemos dicho, el sistema inmune responde específicamente frente a millones de antígenos diferentes con la producción específica de anticuerpos. Hasta los años 40, se pensaba que el contacto del antígeno con el anticuerpo, inducía la producción de anticuerpos específicos (confección a la medida). En los años 50, ésta teoría fue sustituida por la teoría de “**Selección clonal**”, que se basa en que cada linfocito, durante el desarrollo embrionario, queda destinado a

reaccionar con un antígeno concreto, antes de haber sido expuesto a dicho antígeno, presentando en su superficie unas proteínas receptoras que se adaptan a dicho antígeno. La unión del antígeno a los receptores hace que la célula prolifere y madure.

Cuando un antígeno activa a las células T, éstas se sensibilizan, adquieren memoria inmunológica e inician la producción clonal. Las células con memoria inmunológica viven durante años dando una respuesta precoz y rápida. Mientras que las células efectoras se diferencian en tres tipos de linfocitos, que llevan a cabo diferentes funciones y que por ello reciben diferentes nombres:

- Linfocitos T citotóxicos (Tc)
 - Linfocitos T colaboradores (Th)
 - Linfocitos T supresores (Ts)
- Los **linfocitos citotóxicos (Tc)**, *destruyen* por contacto en breves minutos *células extrañas, cancerosas* o de *tejidos trasplantados*.
 - Los **linfocitos T colaboradores (Th)**, colaboran con otras células para dar una respuesta inmunitaria eficaz y rápida. Así *activan a los linfocitos BT dependientes*, para que estos se *transformen en células plasmáticas*, que segregan anticuerpos específicos libres. Este tipo de linfocitos son *necesarios para que los linfocitos T citotóxicos y supresores respondan a los antígenos*. Otra función importante de los linfocitos Th es que *producen linfoquinas*, proteínas solubles de bajo peso molecular, que no son anticuerpos y que *actúan como mensajeros químicos*, realizando una gran cantidad de funciones como : reclutar células linfoides, no sensibilizadas, atraerlas a la zona de inflamación y retenerlas en esas zonas. Así actúan como macrófagos, aumentando su poder fagocitario, a la vez que facilitan la digestión de los microbios.
 - Los **linfocitos T supresores**, controlan los circuitos celulares, *actuando* en la *etapa final del control de la respuesta humoral*, evitando la excesiva producción de células B y la sobreproducción de anticuerpos específicos.



3B.2.- ¿CÓMO RECONOCEN LOS LINFOCITOS T AL ANTÍGENO?

Para que los **linfocitos T** reconozcan al **antígeno**, éste debe encontrarse en la **superficie de una célula propia**. Según que el linfocito T sea citotóxico o colaborador, reconoce al antígeno sobre un tipo de célula u otro. Así los **linfocitos Tc sólo** lo reconocen cuando éste se encuentra sobre la **superficie** de una **célula diana, o célula propia**, y los **linfocitos Th** responden cuando el antígeno se encuentra sobre la **superficie** de una **célula presentadora**.

Las células presentadoras son células especiales, **principalmente macrófagos**, que modifican los antígenos y los presentan a los linfocitos Th. Los macrófagos **captan al antígeno**, en su estado natural, mediante la fagocitosis y **lo digieren parcialmente**. Los **fragmentos** resultantes de la digestión son **trasladados a la superficie del macrófago** y de esta forma son **presentados** a los **linfocitos Th**, que ahora ya son capaces de reconocerles.

Sin embargo, tanto los linfocitos Th como los linfocitos Tc, **antes de reconocer al antígeno sobre una célula diana o presentadora** y por lo tanto desencadenar la respuesta inmunitaria, **deben de asegurarse que ambas células son propias**, y

para ello *exigen*, digamos, su *carta de identidad*, que son los *antígenos del complejo principal de histocompatibilidad (CPH)*.

El complejo principal de histocompatibilidad son *varias decenas de glucoproteínas*, de cada una de las cuales *puede haber más de 100 versiones distintas en la población*, por lo que dos individuos tienen pocas probabilidades de tener las mismas, y por ésta razón se consideran marcadores de la identidad biológica y en el hombre reciben el nombre de HLA (human leucocito antigens). *Éstas proteínas de membrana de las células proporcionan a los tejidos su propia identidad química y gracias a ellos los individuos somos únicos, tanto química como genéticamente.*

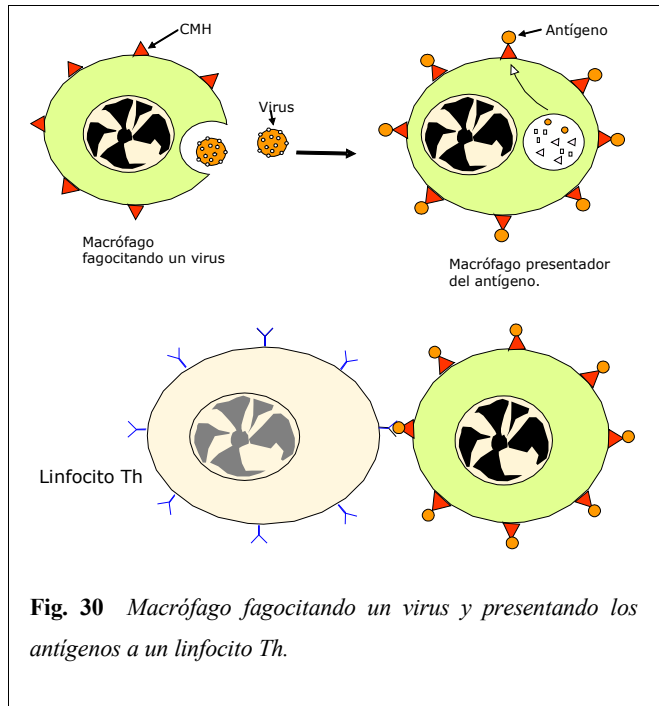


Fig. 30 Macrófago fagocitando un virus y presentando los antígenos a un linfocito Th.

3B.3.- LA RESPUESTA HUMORAL

Es la que llevan a cabo los linfocitos B, células programadas individualmente para el reconocimiento de un antígeno específico. Los **linfocitos B** no producen directamente los anticuerpos, sino que *es necesario que se transformen* en el curso de la respuesta inmunológica *en células plasmáticas encargadas de la producción de anticuerpos.*

Las *células vírgenes* (antes de contactar con el antígeno) *llevan anticuerpos insertados en su membrana*. La *unión entre el anticuerpo del linfocito y el antígeno invasor específico induce a* los linfocitos B (vírgenes) a diferenciarse en *células plasmáticas y células de memoria.*

Ø **Células plasmáticas:** Productoras de anticuerpos solubles, no unidos a la membrana, que pasan al torrente circulatorio. Se ha calculado que solamente una célula plasmática es capaz de producir 2000 moléculas de anticuerpos por segundo.

Ø **Célula con memoria:** Que *se multiplican mitóticamente dando clones de células idénticas*,

parte de las cuales se mantendrán en reserva para responder de forma más eficaz a la reaparición del antígeno, lo que se conoce como **respuesta inmunitaria secundaria.**

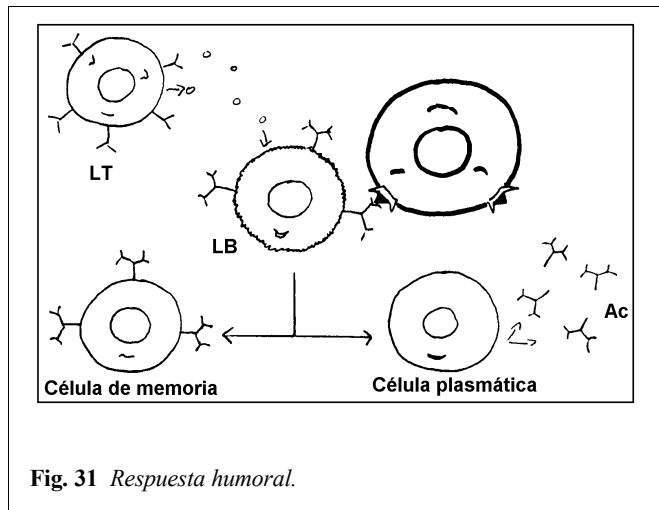


Fig. 31 Respuesta humoral.

Algunos *linfocitos B llamados T dependientes*, requieren para su activación no sólo la fijación directa del antígeno específico, sino *la colaboración de los linfocitos Th.*

3B.4.- INMUNOGLOBULINAS O ANTICUERPOS

Así como los **antígenos** son grandes moléculas de *naturaleza química variada*, los **anticuerpos** son todos ellos *proteínas* que reciben el nombre de *inmunoglobulinas* o Ig la especialidad de estas proteínas frente a los diferentes antígenos es semejante a la que posee la enzima con respecto a su sustrato.

Existen cinco tipos de inmunoglobulinas distintas, pero todas ellas responden a una estructura básica que *tiene forma de Y*. Están constituidas *por cuatro cadenas polipeptídicas* iguales dos a dos: *dos cadenas pesadas o cadenas H*, y *dos cadenas ligeras o cadenas L*, presentando *también una cadena glucídica* en las cadenas pesadas. Las *uniones entre las cadenas se hace por puentes disulfuro (-S-S-)*, que son enlaces covalentes entre los aminoácidos cisterna, que ofrecen una gran resistencia a la disociación. Además existen otros enlaces no covalentes que mantienen la unión entre las cadenas.

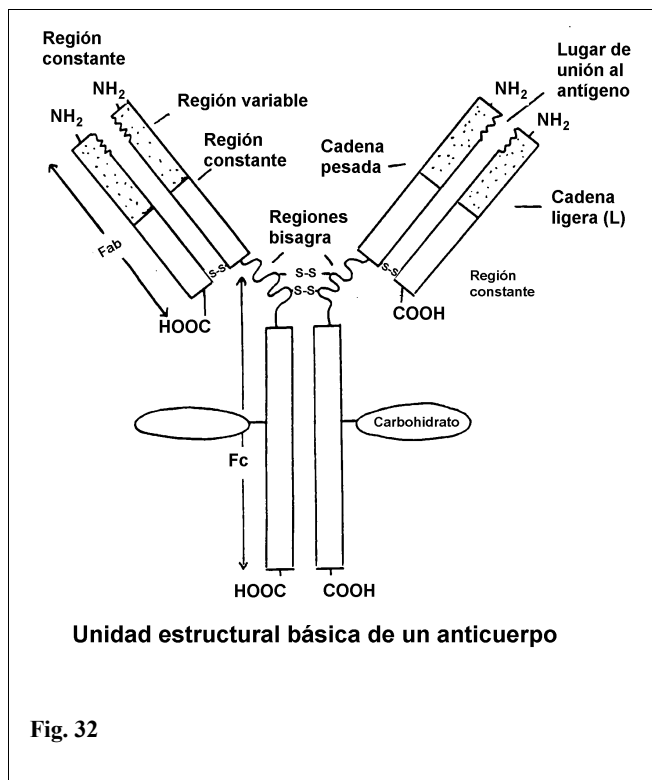


Fig. 32

Los **anticuerpos deben de unirse de forma específica al antígeno** y lo hacen en una *región variable denominada zona Fab*, con dos anclajes para ligar a dos antígenos idénticos.

Presentan una zona de soporte conocida como *zona Fc que sirve de unión para los componentes del complemento o para receptores de superficie de membrana* y que no presenta tantas variaciones como la región Fab.

Algunos tipos de anticuerpos pueden presentarse en las *zonas Fab y Fc, regiones que permiten cierta adaptación al antígeno y se denominan zonas bisagra*, en estos casos la afinidad entre el antígeno y el anticuerpo es mayor.

3B.5.- TIPOS DE ANTICUERPOS

Existen cinco tipos de inmunoglobulinas que difieren en la composición de las regiones constantes de sus cadenas pesadas y en la forma de eliminar células o sustancias del organismo.

IgM. Primer anticuerpo en aparecer en el transcurso de la evolución, comportándose como una opsonina, aglutina y lisa células (complemento).

IgG. Es el anticuerpo más abundante en el suero. Protege al feto y al recién nacido de las infecciones, pasa la placenta y esta en el calostro.

IgA. Se encuentra en muchas secreciones del organismo (saliva, lágrimas, leche e intestino). Protege las cavidades externas y las mucosas contra la infección.

IgD. Su función es poco conocida, se cree que su unión con un antígeno específico estimula a los linfocitos B a iniciar la producción de un antígeno específico.

IgE. Interviene en las infecciones parasitarias y es la responsable de determinadas reacciones alérgicas, como el asma y la fiebre del heno.

3B.6.- REACCIONES ANTÍGENO ANTICUERPO

La llegada de un antígeno extraño, estimula selectivamente a aquellas células que presentan unos receptores complementarios y específicos del antígeno y por lo tanto listas para la respuesta y producción del anticuerpo.

Las *zonas del antígeno que se unen específicamente con el anticuerpo* o receptor de un linfocito se llaman “**determinantes antigénicos**”. Cada antígeno presenta varios determinantes antigénicos que estimulan la producción de anticuerpos y la respuesta de los linfocitos T. Estos determinantes antigénicos son los *responsables de la especificidad de la respuesta inmunitaria*.

Al entrar en contacto antígeno anticuerpo, establecen su unión mediante enlaces no covalentes (fuerzas de Van der Waals, fuerzas hidrofóbicas) y se desencadena una serie de procesos capaces de neutralizar y eliminar la sustancia extraña.

La **unión** entre los determinantes antigénicos y el antígeno es **reversible**, depende de sus concentraciones y también de la afinidad, cuanto mayor sea ésta, más proporción de moléculas estarán unidas.

Las reacciones más importantes son las siguientes:

***Precipitación.-** Se produce entre antígenos y anticuerpos solubles que al unirse forman *agregados insolubles* de ambas en la superficie de ciertas moléculas *que precipitan*.

***Aglutinación.-** Los anticuerpos se dirigen contra los antígenos que se encuentran en la superficie de ciertas células, como los microorganismos, etc. El anticuerpo se une con los antígenos de superficie de la célula y *da lugar* a la formación de *aglomerados de células*.

***Neutralización.-** La unión de los receptores específicos del anticuerpo al antígeno *bloquea la acción de los antígenos* contra las células de los tejidos invadidos.

***Opsonización.-** La llevan a cabo anticuerpos que **reciben el nombre de opsoninas**. Estos anticuerpos *hacen posible la acción fagocitaria* que sin ellos sería imposible.

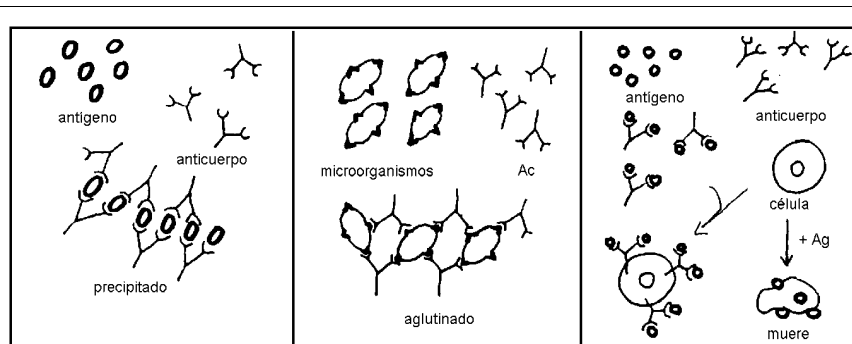


Fig. 33 Reacciones de precipitación, aglutinación y neutralización.

Cuando la unión del antígeno anticuerpo no es suficiente para la eliminación del agente extraño se precisan la colaboración de otros elementos, entre ellos el sistema del complemento, células fagocitarias o células NK (Natural Killer).

Sistema del complemento.- Es un complejo sistema de *proteínas del suero* que coopera con la fagocitosis y los anticuerpos para destruir a microorganismos extraños.

Existe una amplia gama de microorganismos que ponen en marcha a un conjunto de **20 componentes** a los que *se les denomina con la letra C*, seguida de un número. Cuando entra en funcionamiento éste complejo sistema, se **activa una cascada de reacciones enzimáticas** productoras de diversos efectos, entre ellos el aumento de la permeabilidad vascular para dejar paso a los fagocitos, a los cuales por quimiotaxis atraen a la zona de infección, de forma que la activación del complemento está *asociada a una respuesta inflamatoria local*, además de ser responsable de la *destrucción de los microorganismos por lisis celular*.

Los complejos antígeno-anticuerpo son excelentes activadores del complemento. El complemento activado produce la lisis de la célula al provocar una serie de reacciones *cuyo resultado final es la formación de un orificio en la célula invasora*.

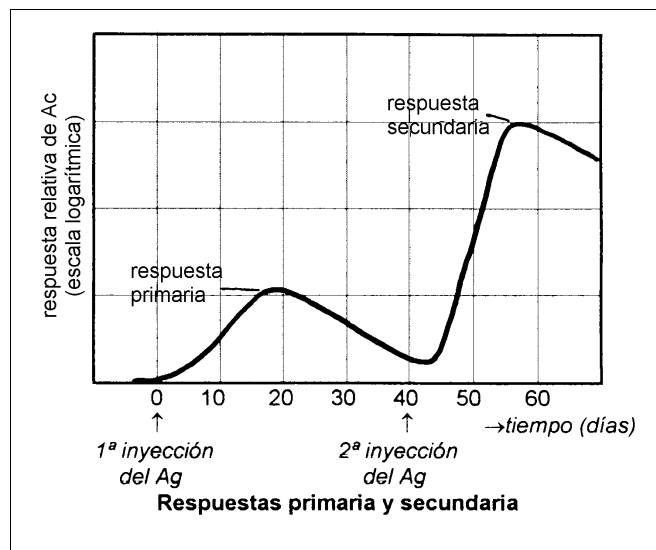
4.- LA RESPUESTA INMUNOLÓGICA PRIMARIA Y SECUNDARIA

Cuando un antígeno es reconocido por primera vez, la respuesta inmunitaria se denomina **respuesta primaria**. Después del contacto con el antígeno, transcurre un cierto tiempo hasta que aparecen anticuerpos en el sistema circulatorio, la concentración de estos aumenta gradualmente hasta que más tarde se produce una caída. Al finalizar la respuesta primaria, la concentración de anticuerpos será tan baja que será difícilmente se detectará en sangre.

En la primera exposición al antígeno se forman **clones de linfocitos B y T** que interactúan con los antígenos, lo que explica la **respuesta primaria**.

Si al cabo de varios días, incluso años, el antígeno vuelve a penetrar en el organismo, se produce la **respuesta secundaria** mucho más rápida y eficaz, ya que la concentración de anticuerpos en el plasma es mucho más elevada.

Como **resultado de la primera exposición al antígeno** además de la producción de los clones de linfocitos B y T, se forman **también células de memoria**. Al producirse el segundo contacto con el mismo antígeno, el organismo ya está preparado ya que posee las células con memoria que lo reconocen y proliferan rápidamente contrarrestando la acción del antígeno, lo que explica la rápida y eficaz **respuesta secundaria**.



5.- TIPOS DE INMUNIDAD

La **inmunidad** frente a las enfermedades infecciosas implica la posesión de una **capacidad de respuesta** o un **estado de protección** contra los gérmenes patógenos. Las personas después de superar una enfermedad infecciosa adquieren una memoria protectora durante más o menos tiempo frente a dicha enfermedad.

Dependiendo del tipo de mecanismos implicados se puede distinguir dos tipos de inmunidad:

Ø **Inmunidad innata**, Relacionada con los **mecanismos inespecíficos** de las primeras líneas de defensa, que son **independientes del contacto previo con los patógenos**.

Ø **Inmunidad adquirida**. Esta inmunidad se consigue a lo largo de la vida y supone la adquisición de una memoria protectora específica, tras el contacto con un determinado tipo de patógeno. Esta inmunidad es más protectora que la innata, y puede alcanzarse activamente mediante inmunización y también de forma pasiva.

La **inmunidad** puede adquirirse de **dos formas** según que el receptor se comporte como un agente activo a meramente pasivo:

- **Inmunidad adquirida activa**, el propio individuo, tras haberse producido un contacto con un antígeno adquiere **memoria inmunológica**, es decir, es **capaz de generar rápidamente muchos anticuerpos específicos en postpor otro organismos.eriores contactos con el mismo antígeno**.

Esta inmunidad puede conseguirse de **dos formas**:

- **Inmunidad natural activa**: mediante una respuesta inmunitaria no provocada; la que se adquiere después de superar con éxito una infección. Por ejemplo, después de superar el sarampión.
- **Inmunidad artificial activa**: inducida mediante vacunas. La vacunación es una forma artificial de inmunización activa mediante la inoculación de antígenos de agentes patógenos en el organismo con el propósito de inducir una inmunidad específica, protectora frente a dichos agentes patógenos.

Las vacunas son preparados antigénicos constituidos por microorganismos no virulentos o muertos o por moléculas desprovistas de toxicidad, obtenidos a partir de microorganismos u otros agentes patógenos que inducen al individuo, a generar una inmunidad adquirida activa frente a esos agentes inoculados, con un mínimo de riesgos y de reacciones locales y generales.

Las vacunas deben de tener dos propiedades:

- **Eficacia**, pues tienen que desencadenar la respuesta inmune correcta.
 - **Inocuidad**, supone que la vacuna está desprovista de poder patógeno, logrando éste objetivo sin interferir en la respuesta inmune.
- **Inmunidad adquirida pasiva**, se produce cuando los anticuerpos que confieren la inmunidad son producidos por otro organismo. Su acción es poco duradera, porque el individuo inmunizado pasivamente no fabrica anticuerpos.

Esta inmunidad puede conseguirse de dos formas:

- **Inmunidad natural pasiva**: cuando los anticuerpos pasan de forma natural de la madre al hijo a través de la placenta o de la leche materna, en los primeros día de lactancia. Esta inmunidad es completa pero temporal, alcanzando como máximo un año.

- **Inmunidad artificial pasiva**: cuando los anticuerpos se administran en preparados biológicos obtenidos del suero de un hombre u otro animal, es el caso de los sueros. La adquisición de inmunidad mediante sueros se llama seroterapia, con ella se consigue una inmunidad inmediata.

Los sueros son preparados biológicos que contienen los anticuerpos específicos para destruir al patógeno que se precise. Es una intervención rápida, menos duradera e intensa que la provocada por vacunación. El paciente no participa en la elaboración de anticuerpos, por eso es pasiva.

6.- AUTOINMUNIDAD Y ENFERMEDADES AUTOINMUNES

¿Cómo nos hacemos autoinmunes? Es decir, ¿cómo adquirimos la habilidad para distinguir lo propio de lo extraño?

El cigoto del que se formará un nuevo individuo, contiene algunos centenares de genes para la síntesis de inmunoglobulinas. Durante el desarrollo embrionario se diferenciarán los **linfoblastos** que, *por recombinación y mutación de su material genético, darán origen a una gran cantidad de linfocitos capaces de producir gran cantidad de anticuerpos específicos.*

La más conocida de las enfermedades autoinmunes humanas es la **esclerosis múltiple**, enfermedad que afecta a *la sustancia blanca del cerebro y la médula espinal* (sistema nervioso central) y que produce, entre otros síntomas, hormigueos y dolores de piernas y brazos, anomalías de la visión, problemas de equilibrio y falta de fuerzas en piernas y brazos. Todos estos síntomas son debidos al deterioro de la vaina de mielina que recubre los axones de las neuronas, debido al no reconocimiento de las células propias, productoras de mielina.

Las enfermedades autoinmunes pueden afectar a cualquier órgano, si bien algunos reencuentran afectados con más frecuencia que otros; por ejemplo, los *revestimientos de las articulaciones* en la **artritis reumatoide**, las *células secretoras de insulina* en la **diabetes mellitas juvenil**. Otras enfermedades autoinmunes *destruyen las conexiones entre nervios y músculos* como la **miastenia gravis**, *destruyen los riñones u otros órganos* como el **lupus eritematoso sistémico**, etc.

7.-FENÓMENOS DE HIPERSENSIBILIDAD. ALERGIAS

La respuesta alérgica es una intensa reacción de ciertos componentes del sistema inmunitario contra una sustancia extraña que por lo general es inofensiva. Aunque las manifestaciones externas de la respuesta alérgica varían, ésta siempre se pone en marcha mediante un proceso silencioso de sensibilización. Esto comienza cuando el sistema inmune se pone en contacto por primera vez con el alérgeno, en posteriores contactos del alérgeno con el organismo se desencadenan una serie de reacciones que llevan a la secreción de histamina y otras sustancias que serán las responsables de los síntomas alérgicos.

Por último, si un **alérgeno** introducido por cualquier vía llega a la **circulación sanguínea**, puede producir **anafilaxis**.

Se sabe que alérgenos diferentes provocan síntomas dispares, en parte porque atacan al sistema inmunitario en diferentes puntos del organismo.

En el **tracto respiratorio superior**, la respuesta inmunitaria produce estornudos y congestión nasal es la **rinitis alérgica**; en el tracto **respiratorio inferior**, puede causar constricción y obstrucción de los bronquios, participando, por tanto en el **desarrollo de síntomas asmáticos**.

En el tracto gastrointestinal, la actividad inmunitaria provoca a veces náuseas, espasmos abdominales, diarrea y vómitos.

8.- RECHAZO DE TRASPLANTES

Desde hace algún tiempo se recurre a la técnica de trasplantes para solucionar situaciones que ponen en peligro la salud de un individuo.

Esta técnica requiere la eliminación del tejido o del órgano dañado y la implantación de otros que reúnan las condiciones adecuadas para la supervivencia del receptor.

Si el *trasplante* procede del *mismo organismo*, el tejido es movido de una posición a otra, denominándose **autoinjerto**. Esta situación siempre tiene éxito si las técnicas quirúrgicas y asépticas son las adecuadas.

Pueden darse situaciones de trasplante en las que el donante y el receptor sean gemelos genéticamente iguales. Otra posibilidad es entre individuos de la misma especie pero genéticamente diferentes

También, en algunas ocasiones, se realiza esta técnica entre *individuos de diferente especie* (como entre hombre y cerdo), se denominan **xenoinjertos**.

En los dos últimos casos el *tejido trasplantado generará*, por parte del receptor, una *respuesta inmune destructiva* que se denomina **rechazo**. Tiene su *origen* en la existencia de proteínas de superficie en las membranas (*moléculas del CMH*), que si son reconocidas como extrañas se desencadena la respuesta inmune específica.

Con el fin de evitar estos problemas, los inmunólogos de trasplantes realizan pruebas previas de histocompatibilidad.

La experiencia demuestra que algunos lugares anatómicos son privilegiados y, en porcentajes elevados, no generan rechazo. Es el caso del trasplante de córnea.

Por lo general, en todas las demás intervenciones debe *tratarse al paciente* con *inmunosupresores inespecíficos* con el consiguiente riesgo de contraer enfermedades infecciosas en el postoperatorio, o también se puede aplicar un *tratamiento de inmunosupresión específica*.