

**Universidad Nacional Autónoma de México  
Colegio de Ciencias y Humanidades  
Plantel Naucalpan**

**“Libro de Texto para la Asignatura de Biología I”**

**M. en C. Macarita Gpe. I. Calcáneo Garcés  
M. en C. Blanca Lourdes de la Cueva Barajas  
Biol. Moisés Lozano Lugo**

**Revisado, corregido y actualizado por:  
M. en C. Macarita Gpe. I. Calcáneo Garcés  
M. en C. Blanca Lourdes de la Cueva Barajas**

**2010**

## **Presentación**

El “Libro de texto para la asignatura de Biología I”, tiene como finalidad proporcionar un material de fácil acceso tanto a profesores como a los alumnos que cursan la asignatura de Biología I, en el tercer semestre del Bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades, después de haber cursado Química I y II y simultáneamente con Física I, todas estas asignaturas del Área de Ciencias Experimentales.

El curso de Biología I está orientado a formar en el alumno una cultura básica en este campo del saber, que le dé nociones y conceptos además de propiciar el desarrollo de habilidades que le permitan comprender y estudiar nuevos conocimientos, así como la adquisición de actitudes y valores. Tomando en cuenta lo anterior, el libro se elaboró de acuerdo con los propósitos generales y particulares, aprendizajes y contenidos que marca el programa indicativo de la asignatura, así mismo se respetó el orden de los temas que este tiene.

Debido a la gran cantidad de información que existe en diversos medios (electrónicos, impresos, etc.), al alumno se le hace difícil seleccionar cuál es la más apropiada para la preparación de sus clases, por lo que surgió la idea de elaborar un libro de texto para la asignatura de Biología I, que reuniera toda la información necesaria, confiable, actualizada y que esta fuera adecuada al nivel escolar, escrita de manera accesible a los estudiantes y acorde con el programa indicativo de la asignatura.

El curso de Biología I, hace una amplia revisión de los temas fundamentales que van desde las biomoléculas, pasando por las células y los procesos que ellas realizan, para mantener y perpetuar la vida en el planeta y que este funcione adecuadamente, por lo que es importante que los alumnos adquieran los conocimientos necesarios para comprender como se desarrolla esta y los pueda aplicar en su vida diaria. Otro aspecto importante es que el manejo de esta información les permitirá continuar con los siguientes cursos de Biología.

Esperamos que este libro te sirva para apoyar tu aprendizaje y descubras que la Biología es algo muy cercano a ti, ya que describe algunos de los procesos que llevan a cabo tus células todos los días y que has realizado durante toda tu vida.

M. en C. Macarita Gpe. I. Calcáneo Garcés

M. en C. B. Lourdes de la Cueva Barajas

## Introducción

El libro de texto para la asignatura de Biología I se desarrolló tomando en cuenta el destinatario, que en este caso son los estudiantes que cursan la asignatura de Biología I en el tercer semestre del Bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades; se tuvo especial atención en que la información fuera lo más actualizada posible y proveniente de fuentes confiables, que el lenguaje y la redacción estuvieran claros y accesibles a los alumnos y que el nivel fuera el adecuado, todo esto ayudará a que los alumnos adquieran un aprendizaje significativo de los conceptos básicos de la Biología.

La elaboración del libro se realizó de acuerdo al programa indicativo de la asignatura el cual consta de tres unidades, cada una de ellas tiene su propósito, aprendizajes, estrategias y contenidos temáticos, que se tomaron como base para desarrollar el libro, el cual consta de seis capítulos que se distribuyen de la siguiente manera:

**Primera Unidad:** ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas vivos?

- Capítulo 1 “La célula como unidad de los sistemas vivos”

**Segunda Unidad:** ¿Cómo se lleva a cabo la regulación, conservación y reproducción de los sistemas vivos?

- Capítulo 2 “Procesos de regulación”
- Capítulo 3 “Procesos de conservación”
- Capítulo 4 “Procesos de Reproducción”

**Tercera Unidad:** ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos?

- Capítulo 5 “Mecanismos de la herencia”
- Capítulo 6 “La ingeniería genética y sus aplicaciones”

Cada capítulo contiene un índice paginado; introducción; los objetivos de aprendizaje; una lista de conceptos previos; el desarrollo de los temas que se ilustran con imágenes, cuadros, tablas, esquemas y pequeñas capsulas informativas; actividades de aprendizaje en las que se encuentran prácticas de laboratorio, ejercicios, juegos didácticos y sugerencias de actividades de aprendizaje; actividades de evaluación y de autoevaluación; glosario; bibliografía y hoja de respuestas de las diferentes actividades.

Se trató de que el libro tuviera un equilibrio entre la información y las actividades que este contiene, para que fuera más interesante y ameno para los alumnos y práctico para los profesores que decidan utilizarlo, ya que este contiene todos los elementos necesarios para facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje.

## CONTENIDO

	Pág.
Presentación	
Introducción	
Capítulo 1 “La célula como unidad de los sistemas vivos”	1
Capítulo 2 “Procesos de regulación”	50
Capítulo 3 “Procesos de conservación”	80
Capítulo 4 “Procesos de reproducción”	138
Capítulo 5 “Mecanismos de la herencia”	180
Capítulo 6 “La Ingeniería Genética y sus aplicaciones”	222

# Capítulo 1

## *La Célula como Unidad Vital de los Sistemas Vivos*

*“Cuando hayas cortado el último árbol, contaminado el último río y pescado el último pez,  
te darás cuenta que el dinero no se puede comer”*

## ÍNDICE

	Pág.
• <b>Antecedentes de la Teoría Celular</b>	1
• <b>Objetivos de Capítulo</b>	2
• Conceptos Previos	3
• <b>Teoría Celular</b>	3
• <b>Compuestos Orgánicos</b>	4
• <b>Carbohidratos</b>	5
-Monosacáridos	6
-Disacáridos	7
-Polisacáridos	7
• <b>Lípidos</b>	9
-Lípidos simples	9
-Lípidos compuestos	11
-Esteroides o Lípidos derivados	11
• <b>Proteínas</b>	12
-Aminoácidos	12
-Desnaturalización	14
• <b>Ácidos Nucleicos</b>	14
-Nucleótidos	15
-Ácido desoxirribonucleico	16
-Ácido ribonucleico	17
• <b>Otros nucleótidos</b>	19
• <b>Estructura Celular</b>	19
-Membrana plasmática o celular	19
-Citoplasma	21
-Citoesqueleto	22
-Núcleo	23
-Retículo endoplásmico	25
-Ribosoma	26
-Aparato de golgi	26
-Lisosomas	27
-Mitocondria	28
-Cloroplasto	28
-Pared celular	29
-Vacuola	31
-Centriolo	32
-Cilios y flagelos	32
• <b>Células Procariontas</b>	33
• <b>Células Eucariotas</b>	34
• <b>Actividades de aprendizaje</b>	36
• <b>Cuestionarios</b>	44
• <b>Glosario</b>	46
• <b>Bibliografía</b>	47
• <b>Hoja de Respuestas</b>	49

## Antecedentes de la Teoría Celular

Un importante pilar de la biología y del conocimiento humano, es la **teoría celular** y es el resultado del trabajo de un gran número de científicos y de la aparición del microscopio, ya que las células son muy pequeñas (miden entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro 1 micrómetro= $\mu\text{m}$  =1/1 000 000 m), por lo que era necesario éste instrumento.

La fabricación de los primeros microscopios, se remonta a 1590 cuando en Middelburg Holanda, Hans y Zaccharias Janssen, construyeron probablemente el primer microscopio compuesto, es decir, formado por dos lentes, acomodadas en los extremos de un tubo de aproximadamente 25 cm de largo. (Fig. 1. 1)



Fig. 1.1. Microscopio compuesto, fabricado por Hans y Zaccharias Janssen. <http://www.bio.unipedo.ar/historiamicroscopia.htm>.

En 1610 el italiano Galileo Galilei fabricó un pequeño microscopio compuesto, de aproximadamente 12 cm. con el que observó y describió los patrones geométricos de los ojos de una abeja, por lo que se le considera como el primer investigador que efectuó una observación biológica a través de un microscopio y que fue publicada por la Academia dei Lincei.

En Europa durante el siglo XVII hubo un gran interés por mejorar la fabricación y calidad de los microscopios, así como por la investigación y conocimiento del mundo microscópico desconocido hasta entonces.

En 1665 el científico inglés Robert Hooke publicó un libro llamado *Micrographia*, en el que describía sus observaciones hechas en microscopios mejorados por él, entre otras a una pulga, a los ojos de una mosca y particularmente las realizadas en cortes muy delgados de corcho, en los que observó unos pequeños compartimentos o celdillas, que llamó *cellulae*, diminutivo de *cella*, que significa hueco y de ahí el nombre del término biológico de **célula**, (fig. 1. 2.). Hooke no observó células vivas, ya que el corcho forma parte de la corteza externa del árbol del alcornoque, pero si vio las paredes celulares, no obstante, se le reconoce como la primera persona que observó e identificó a las células, aunque no las haya concebido como las unidades constitutivas de los organismos.



Fig. 1.2. Se muestra el microscopio con el que Robert Hooke observó los cortes de corcho y el dibujo que realizó y publicó en su libro *Micrographia*. Audesirk T. 2000.

Algunos años después, el holandés Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), diseñó y construyó numerosos microscopios simples (con una sola lente), cuyas lentes eran de aproximadamente 3 mm. de diámetro

que el mismo pulía con una extraordinaria calidad y un poder de resolución de 0.7 micrómetros (cuatro veces menos que los microscopios ópticos actuales) (Fig.1.3.). Con estos microscopios observó todo lo que le rodeaba, debido a esto, describió por primera vez a los espermatozoides, los glóbulos rojos, la estructura de la piel, numerosos tipos de células, tanto vegetales como animales, bacterias, mohos, etc.,. Gran número de sus observaciones las dio a conocer en alrededor de 400 cartas que escribió a diferentes sociedades científicas, por lo que se convirtió en uno de los primeros corresponsales de la Royal Society de Londres. Por todos sus descubrimientos se le considera como el “Padre de la Microscopía”.

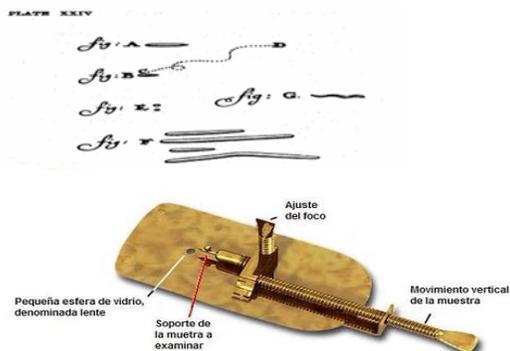


Fig. 1.3. Microscopio simple fabricado por Leeuwenhoek y dibujo de bacterias. <http://antonyxleeuwenhoek.blogspot.com/>

Marcelo Malpighi (1628-1694), describió a las células de las plantas como “utrículos” y “sáculos”, mientras, que el inglés Nehemiah Grew (1641-1712), reconoció a las células vegetales y las llamó “vesículas” o “vejigas”.

En la primera mitad del siglo XVIII las ideas dominantes eran: el “preformismo” que consistía en que los organismos estaban en miniatura dentro del ovulo (ovismo) o dentro del animáculo espermático o espermatozoide (animalculismo), por lo que solo le quedaba a los organismos crecer y desarrollarse. Xavier Bichat en 1771 propone el término “tejido” para designar

las estructuras constituyentes de los organismos, Félix Fontana en 1781, dibujó células con núcleos, observadas en epidermis de anguila, Gallina (1792) y Ackermann (1797) propusieron que los animales estaban constituidos por células y éstas a su vez estaban rodeadas por membranas, sin embargo estos trabajos no tuvieron ninguna repercusión.

A principios del siglo XIX la concepción más aceptada sobre los organismos era de tipo vitalista y la idea de que los seres vivos podrían estar formados por células o por un solo tipo de estructura, no se contemplaba y tampoco había elementos suficientes para que las teorías construidas hasta entonces, dirigieran sus observaciones y experimentos hacia la identificación de las células y el verdadero papel que éstas tienen en los organismos. Sin embargo, en Europa durante la primera mitad del siglo XIX se da un extraordinario desarrollo de la morfología microscópica, por lo que aparecen los microscopios con objetivos acromáticos y el uso de técnicas de tinción en la elaboración de las preparaciones, siendo en un principio los colorantes naturales y posteriormente sintéticos.

**Sabías que:** A principios del siglo XVII, la Academia dei Lincei utilizó por primera vez el término *microscopium* (*micro*-pequeño, *skopein*-ver, examinar) para referirse al microscopio.

## Objetivos del Capítulo

### El lector:

- Explicará como se construyó la teoría celular considerando el contexto social y la etapa histórica en que se formuló.

- Valorará la importancia de las biomoléculas en el funcionamiento de las células
- Relaciona las estructuras celulares con sus funciones.
- Explicará las características de las células procariotas y eucariotas.

**Conceptos previos:** ADN, átomo, ARN, bacteria, biomolécula, caloría, célula, compuestos orgánicos e inorgánicos, cromosoma, elemento, enlace, eucariota, fotosíntesis, gene, grupo funcional, isómero, metabolismo, organelo celular, procariota.

## Teoría Celular

La creación de la teoría celular fue producto de un largo y complicado proceso, que se inició con la aparición del microscopio, el descubrimiento de la célula, el progresivo mejoramiento del microscopio y el uso de las técnicas de tinción, entre otras.

En 1831 el botánico escocés Robert Brown (1773-1858) describió el movimiento del citoplasma dentro de la célula vegetal, al que se le llamó “movimiento browniano”, asimismo, descubrió en células vegetales la presencia de una estructura esférica, oscura que llamó “**núcleo**” y le atribuyó funciones importantes, aunque desconocía cuales podrían ser.

En 1838 el botánico alemán Matthias Jacob Schleiden (1804-1881), estudió al microscopio tejidos meristemáticos de vegetales y concluyó que las plantas eran estructuras multicelulares, en las cuales las células eran sus unidades morfológicas y funcionales, por lo que se consideró que: “las células orgánicas elementales, presentan una marcada individualización y

es necesario ante todo estudiar a la célula como el fundamento del mundo vegetal”.

En 1839 el zoólogo alemán Friedrich Theodor Schwann (1810-1882), haciendo estudios en tejidos embrionarios y cuerdas dorsales de renacuajo, entre otros, afirmó lo siguiente: “los animales y las plantas están formados de células y productos celulares, e inclusive aunque las células forman parte de un organismo completo, tienen un cierto grado de vida propia e individualizada”.

Schleiden y Schwann basándose en sus numerosas observaciones realizadas en diferentes organismos, propusieron que: **“todos los seres vivos tienen una unidad fundamental, que es la célula, que si bien podían tener diferentes formas y tamaños, pero finalmente era la misma estructura, por lo que llegaron a la conclusión, de que la célula es la unidad estructural morfológica de los organismos”** y que **“la célula es la unidad fisiológica de los seres vivos”**. Años más tarde Theodor Schwann dijo “Hemos derribado el gran muro de separación entre los reinos animal y vegetal”.

Sin embargo, el problema del origen de las células continuaba sin resolver y fue hasta 1858 en que el patólogo alemán Rudolf Virchow dijo “omnis cellula e cellula”, que significa que **todas las células provienen de otras preexistentes** y con esta aportación, surgen los tres postulados de la teoría celular que son:

- Unidad anatómica: la presencia de células en todos los organismos.
- Unidad fisiológica: la relación estrecha entre la estructura y la función

- Unidad de origen: la continuidad genética de la materia viva.

La teoría celular es una de las generalizaciones más importantes de la biología, además de que en su momento influyó en el desarrollo de otras ramas del conocimiento como la fisiología, histología, entre otras, asimismo, terminó con hipótesis y teorías equivocadas que se habían planteado y promovió numerosas investigaciones y descubrimientos.

## Compuestos Orgánicos

A todo lo que ocupa un lugar en el espacio y tiene masa, se le llama **materia**, es decir, que esta formando todo lo que existe, incluyendo a los seres vivos; y los ladrillos que la constituyen son los **elementos químicos**.

En la naturaleza existen 92 elementos diferentes; siendo alrededor de 25 los esenciales y tienen la particularidad de encontrarse en diferentes proporciones en los organismos (Fig. 1. 4.a.). La partícula más pequeña que existe en un elemento y que posee las características de éste, es el **átomo**.

ELEMENTOS NATURALES EN EL CUERPO HUMANO		
Símbolo	Elemento	Porcentaje en peso húmedo*
O	Oxígeno	65.0
C	Carbono	18.5
H	Hidrógeno	9.5
N	Nitrógeno	3.3
Ca	Calcio	1.5
P	Fósforo	1.0
K	Potasio	0.4
S	Azufre	0.3
Na	Sodio	0.2
Cl	Cloro	0.2
Mg	Magnesio	0.1

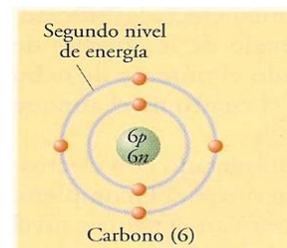
Elementos traza (menos de 0.01%): boro (B), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), fluor (F), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mb), selenio (Se), sílice (Si), estaño (Sn), vanadio (V) y zinc (Zn).

\*Incluye agua.

**Fig. 1.4.a.** Tabla de los porcentajes en los que se encuentran los diferentes elementos en el cuerpo humano. Campbell N. 2001.

Los átomos de diferentes elementos se pueden combinar y unirse por enlaces para formar compuestos. Existen dos tipos de compuestos: los orgánicos que son aquellos que contienen al elemento carbono unidos por enlaces de tipo covalente, formando un esqueleto o cadena y especialmente si están unidos por lo menos a un átomo de hidrógeno, además, de que pueden formar moléculas muy grandes. Los inorgánicos no poseen un esqueleto de carbono, pueden contener cualquiera de los elementos en combinaciones diversas y en general son moléculas más pequeñas. (Fig. 1.5.)

El carbono posee 6 electrones, de los cuales 4 están en la última órbita (electrones de valencia) (Fig.1.4.b.) por lo cuál, forma cuatro enlace covalentes, ya que están compartiendo electrones con otros átomos, por lo que puede formar largas cadenas y un gran número de compuestos, pudiendo ser lineales o cíclicos.



**Fig.1.4.b.** Esquema del arreglo de los electrones de un átomo de carbono. Curtis H. 2001.

Las características que tiene la cadena de carbonos esta dada por un grupo de átomos llamados **grupos funcionales**, (Fig. 1.6.) que intervienen en la clasificación de los compuestos y determinan su reactividad química, ya que las reacciones entre ellos se basan en las reacciones de sus respectivos grupos funcionales.

Comparación de moléculas inorgánicas y orgánicas	
Moléculas inorgánicas	Moléculas orgánicas
Usualmente contienen iones negativos y positivos	Siempre contienen átomos de carbono e hidrógeno
Suelen tener enlaces iónicos	Siempre tienen enlaces covalentes
Siempre consisten en un pequeño número de átomos	Suelen ser muy grandes, con numerosos átomos
Es frecuente que se relacionen con objetos inanimados	Suelen relacionarse con seres vivos

**Fig. 1.5. Se muestran algunas de las diferencias que existen entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Mader S. 2003.**

Los seres vivos están constituidos por una gran variedad de moléculas diferentes y de todas ellas sobresalen cuatro clases y se les conoce también como biomoléculas y son: los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos.

## Carbohidratos

Los carbohidratos o glúcidos (del griego que significa dulce), son las moléculas biológicas más abundantes en la naturaleza y se encuentran en todos los seres vivos, siendo muchos de ellos sintetizados por las plantas durante la fotosíntesis. Están constituidos por C, H y O, en una proporción de 1:2:1 respectivamente, tienen como grupo funcional un carbonilo (R-CH=O) y varios grupos hidroxilo (-OH). La estructura química de los carbohidratos determina su funcionalidad; y sus características repercuten de diferente manera en los alimentos, principalmente en el sabor, viscosidad, estructura y color.

Los carbohidratos desempeñan importantes funciones en los organismos como son: a) ser la principal fuente de energía y de reserva para las células, proporcionando 4 Kcal/gr, b) como componentes estructurales, por ejemplo en la pared celular de las células vegetales. c) desempeñan un papel clave en los procesos que se llevan a cabo en la superficie de las

HIDROXILO -OH	-OH	En los alcoholes (por ejemplo, azúcares, aminoácidos); hidrosoluble
METILO -CH <sub>3</sub>		En cadenas de ácidos grasos; insoluble en agua
CARBONILO		En azúcares, aminoácidos, bases de nucleótidos; hidrosoluble. Es un <i>aldehído</i> cuando se encuentra al final de la cadena de carbono y una <i>cetona</i> si está unido a alguno de los carbonos interiores de la cadena
CARBOXILO		En aminoácidos, ácidos grasos, hidrosoluble. Altamente polar y actúa como un ácido (libera iones H <sup>+</sup> )
AMINO		En aminoácidos y ciertas bases de nucleótidos; hidrosoluble, actúa como base débil (acepta iones H <sup>+</sup> )
FOSFATO		En el ATP y otros nucleótidos; también en ADN, ARN, diversas proteínas, fosfolípidos; hidrosoluble, ácido
SULFIDRILLO -SH	-SH	En el aminoácido cisteína, ayuda a estabilizar la estructura proteica (en los puentes disulfuro)

**Fig. 1.6. Grupos funcionales más comunes en los compuestos orgánicos y las biomoléculas en las que están presentes. Starr C. 2005.**

células, como en el caso de las interacciones que existen entre ellas y el reconocimiento inmune d) formación de diferentes compuestos con lípidos (glucolípidos), y proteínas (glucoproteínas) que son importantes para la célula e) forman parte de la trama estructural del ADN y ARN.

### \* Clasificación de los carbohidratos:

Los carbohidratos se clasifican de acuerdo al número de monómeros que forman a la molécula, de la siguiente manera:

**Monosacáridos:** Azúcares simples y están constituidos por un monómero.

**Disacáridos:** Están formados por la unión de dos monómeros o monosacáridos.

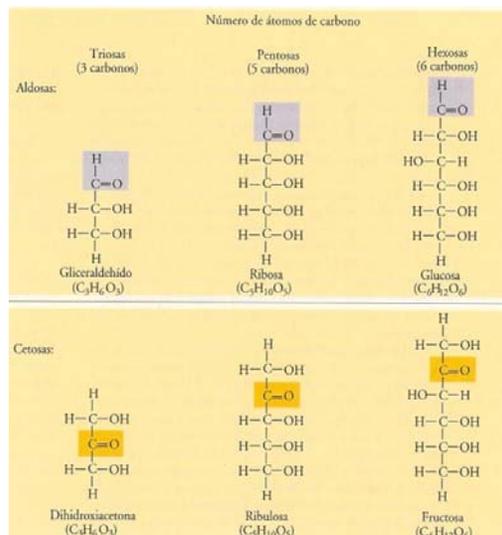
**Polisacáridos:** Están integrados por la unión de un gran número de monómeros.

**\* Monosacáridos:**

Son los carbohidratos más simples y no se pueden hidrolizar a moléculas de carbohidrato más sencillas, tienen sabor dulce y son solubles en agua. Su tamaño es relativamente pequeño ya que están formados por una cadena de 3 a 7 carbonos; siendo las triosas de tres carbonos, las tetrasas de cuatro, las pentosas de cinco y las hexosas de seis. De acuerdo al número de C, H y O la fórmula general es  $(CH_2O)_n$ .

Como se observa en la figura 1.7. a las cadenas de carbonos se les unen algunos grupos hidroxilo (-OH) e hidrógenos (-H) y un grupo carbonilo (R-CH=O), si éste se encuentra en el carbono # 1 será un grupo aldehído y formará una **aldosa** y si esta en el carbono # 2 será un grupo cetona y formará **cetosas**; por lo tanto, puede haber dos moléculas con el mismo número de carbonos, pero con diferentes características y nombres, esto es debido a la posición del grupo carbonilo, por ejemplo la glucosa y la fructosa, a éstos se les conocen como **isómeros** (Fig. 1.7.). También hay isómeros cuando se cambia el arreglo espacial de los grupos -H y -OH de los diferentes carbonos de la cadena, por ejemplo la galactosa y la manosa (Fig.1.9.); cada uno de los isómeros resultantes tienen diferentes características, como la galactosa que forma parte de la lactosa (azúcar de la leche), la maltosa azúcar de la malta y la glucosa que es fuente de energía (ATP) para los organismos.

La mayor parte de los azúcares se encuentran en forma cíclica, formando anillos de cinco o seis lados, la transformación de moléculas lineales a



**Fig. 1.7. Monosacáridos con diferente número de carbonos, posición de los hidroxilos e hidrógenos y del grupo funcional carbonilo en la molécula. Asimismo, se muestra la fórmula desarrollada y condensada de cada uno. Curtis H. 2001.**

cíclicas es la siguiente: a) cada vértice del anillo está ocupado por un carbono o si es otro elemento se anotará el símbolo, b) todo lo que está dirigido hacia la derecha de la fórmula lineal, queda hacia abajo del anillo. c) todo lo que está dirigido hacia la izquierda en la fórmula lineal, se orienta hacia arriba del anillo d) se cierra el anillo por el carbono que tenga el grupo carbonilo y el carbono cinco si se trata de una hexosa o carbono cuatro si se trata de una pentosa. (Fig. 1.8.)

Algunos de los monosacáridos tienen importancia biológica, como es el caso de la ribosa (pentosa) que es el azúcar que forma parte del ARN, la glucosa (hexosa) se encuentra en estado libre en plantas y animales, teniendo un papel importante en el metabolismo celular, ya que al ser oxidada se obtiene  $\text{CO}_2$ ,

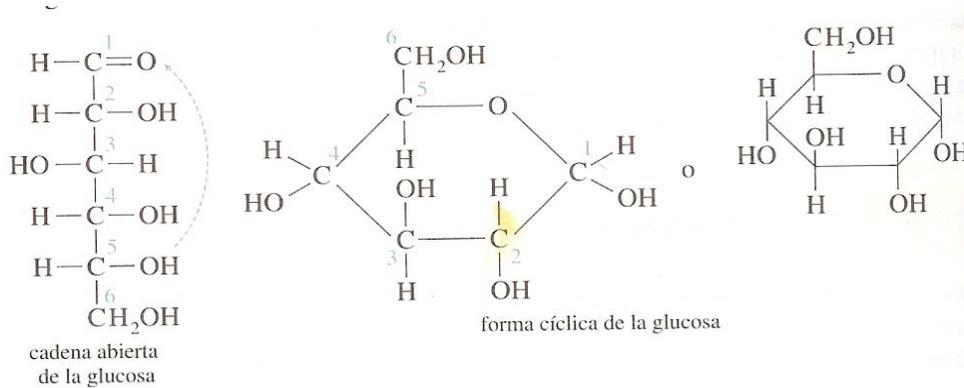


Fig. 1.8. Forma lineal y cíclica de la glucosa. Hein A. 2001.

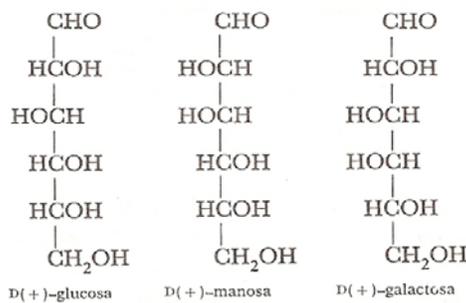


Fig.1.9. Se observa la posición del hidroxilo del carbono 2 de la manosa que es diferente al de la glucosa y el hidroxilo del carbono 4 de la galactosa con respecto a la glucosa. Conn E.

H<sub>2</sub>O y ATP, es decir, que es la molécula energética de los organismos; también forma parte de estructuras y se puede combinar para formar moléculas más complejas, como la fructosa 6 fosfato (hexosa) que se sintetiza durante la respiración, etc.

#### \* Disacáridos

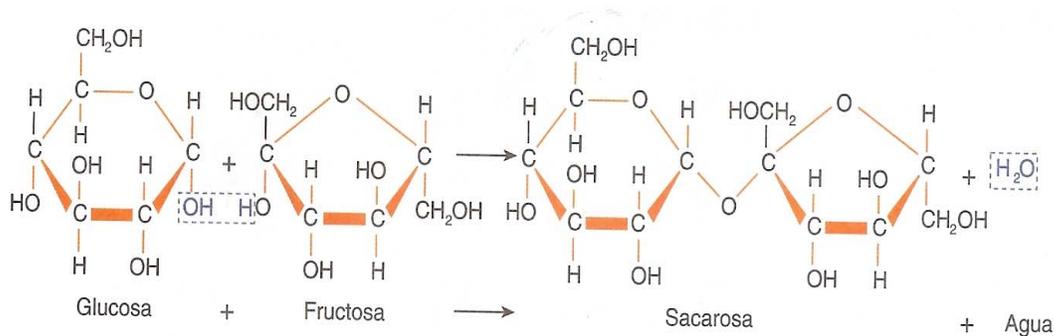
Se forman por la unión de dos monosacáridos, que pueden ser iguales o diferentes mediante un enlace **glucosídico**; la unión se lleva a cabo eliminándose una molécula de agua (Fig. 1.10.), en donde uno de los monosacáridos aporta un -OH y el otro monosacárido da el -H y de ésta manera se forma la molécula de agua que se libera y quedan unidos por dicho enlace glucosídico, a este procesos se le llama **condensación** o **deshidratación**.

El enlace glucosídico puede romperse por **hidrólisis** (rompimiento de la molécula agregando agua), dando como resultado la separación de los dos monosacáridos, debiendo estar presente una molécula de agua, ya que se desdobra (H-OH) y se unen a los monosacáridos por ejemplo: **Maltosa + agua → glucosa + glucosa**.

Los disacáridos que tienen importancia son: la sacarosa o azúcar de mesa, que se usa para endulzar los alimentos, integrada por una glucosa y una fructosa (Fig. 1.10). La lactosa o azúcar de la leche está formada por una glucosa y una galactosa, y la maltosa por dos glucosas que esta en las semillas en germinación y se usa en la fabricación de la cerveza. Los disacáridos son solubles en agua y tienen sabor dulce.

#### \* Polisacáridos

Los polisacáridos son los carbohidratos más abundantes, están formados por la unión (con enlaces glucosídicos) de una gran cantidad de monosacáridos (cientos o miles), que si son de un solo tipo se les llama **homopolisacáridos** como el almidón y la celulosa (Fig.1.12), o **heterosacáridos** si son diferentes los monosacáridos, como las gomas. Dado



**Fig. 1.10.** Se muestra la reacción de condensación entre la glucosa y la fructosa (hexosas), obteniéndose el disacárido sacarosa o azúcar de caña, Y una molécula de agua que se libera. Biggs A. 2000.

**Sabías que:** Principalmente la sacarosa esta relacionada con la caries dentales, debido que las bacterias *Streptococcus mutans* y *Streptococcus sanguis* transforman a la sacarosa en ácido acético, láctico y pirúvico, que disuelven el esmalte de los dientes.

que son moléculas de gran tamaño, alcanzan pesos moleculares elevados, formando cadenas muy largas por condensación, pudiendo ser lineales o ramificadas. Son macromoléculas muy estables e insolubles en agua y se pueden romper por hidrólisis, dando lugar a un gran número de monosacáridos.

Hay una gran variedad de polisacáridos y realizan diferentes funciones en los organismos, quizá los de mayor importancia biológica son la celulosa, el almidón y el glucógeno.

La celulosa es la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza, se encuentra en las paredes celulares de los vegetales y aproximadamente en la mitad de la corteza del tronco de los árboles, dándoles rigidez y estructura a las células.

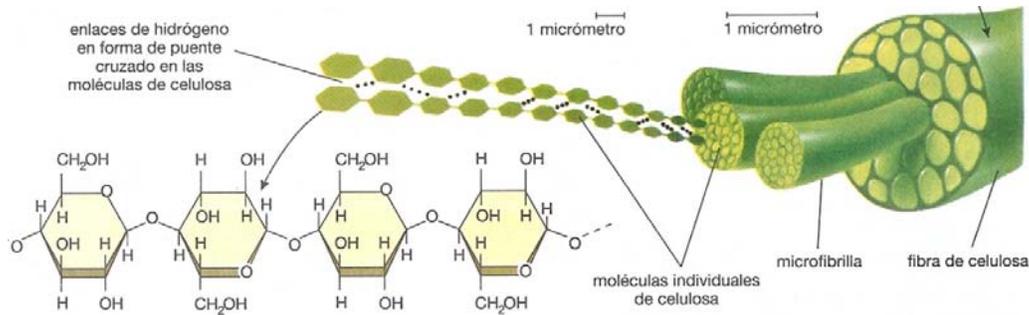
Cuando el hombre ingiere vegetales, cereales, etc. la celulosa no puede ser digerida, y es eliminada por las heces fecales y se le conoce como **fibra**

**dietética FD)**, cuya función es intervenir en el adecuado funcionamiento intestinal, entre otros beneficios, recomendándose ingerir entre 30 y 35 gr. al día.

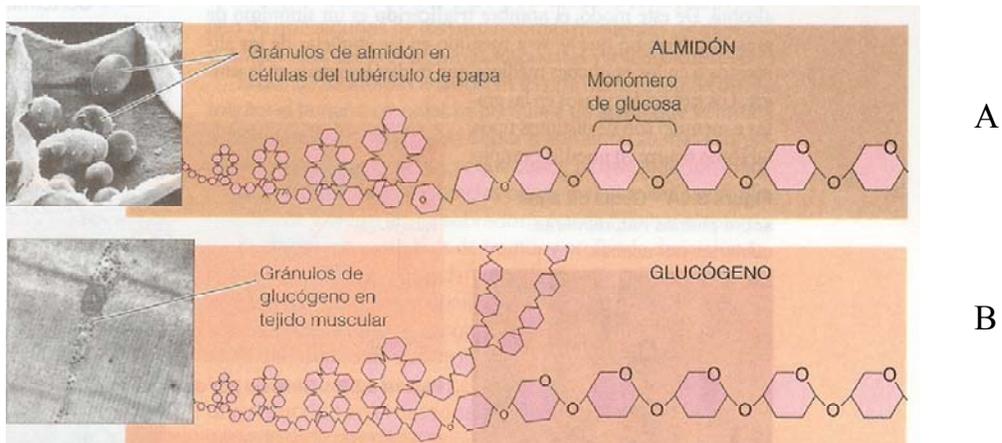
Esta constituida por miles de moléculas de glucosa, unidas por enlaces glucosídicos ( $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4), formando cadenas lineales y fibrosas que se mantienen unidas y paralelas por puentes de hidrógeno (Fig. 1.11.). La disposición de las fibras de celulosa la hacen ser muy fuertes por eso el algodón y el lino son resistentes y durables.

Los vegetales almacenan energía en moléculas de almidón, que se encuentran en semillas y raíces. Son polímeros de la glucosa ( $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4), en la que el carbono # 1 de una glucosa se une al carbono # 4 de la siguiente, formando largas cadenas, que bien pueden estar enrolladas como una escalera de caracol o ramificadas. (Fig. 1.12.A)

El glucógeno o también conocido como almidón animal, ya que es la forma como los animales y el hombre almacenan la energía; se localiza en las células del hígado y los músculos. Está constituido por la unión de glucosas que dan como resultado moléculas más ramificada que la del almidón y más hidrosoluble.



**Fig. 1.11.** Se observa la estructura de la celulosa. Esta formada por cadenas de glucosas unidas por enlaces glucosídicos, a su vez las fibras de celulosa están unidas por puentes de hidrógeno. Es importante observar la posición de las glucosas en la molécula. Audesirk. T. 2000.



**Fig. 1.12.** Se muestra la estructura de: A) almidón y B) glucógeno. Campbell N. 2001.

Cuando el organismo o la célula necesitan energía extra o de emergencia, el glucógeno se degrada a glucosa y pasa a la sangre, para ser usada rápidamente por las células. (Realizar la actividad de Identificación de Biomoléculas)

## Lípidos

Los lípidos son un grupo de compuestos orgánicos, formados principalmente por C, H, y O, en que la proporción de O es muy baja en relación a los átomos C e H, son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos o no polares como el éter, benceno, etc. Tienen importancia biológica ya que realizan diversas funciones en los organismos como: fuente de reserva de energía, intermediarios

metabólicos, forman parte de las membranas celulares, entre otros.

Se pueden clasificar a los lípidos en:

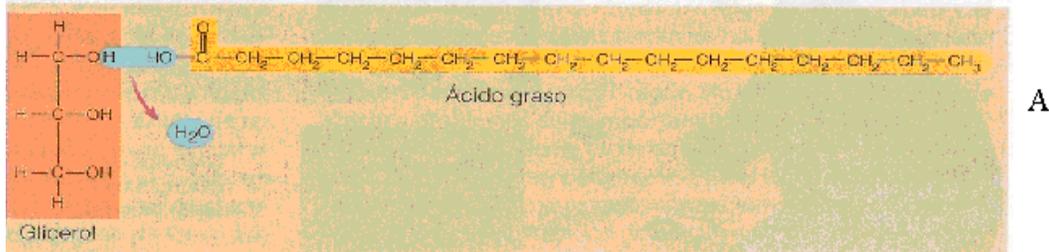
- **Simples:** Están formados exclusivamente por carbono, hidrógeno y oxígeno.
- **Compuestos:** Son semejantes a los simples, pero con nitrógeno o fósforo o azufre u otras moléculas.
- **Esteroides o Derivados:** Se Derivan de alcoholes cíclicos.

### \* Lípidos simples

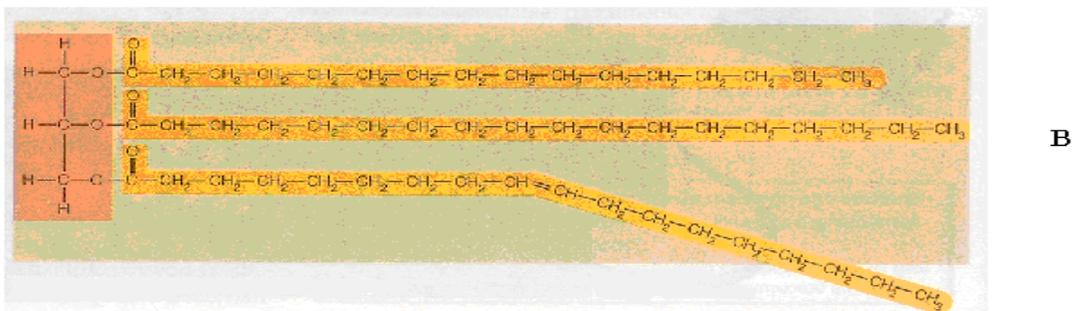
Los aceites y las grasas son ejemplos de éste tipo de lípidos, sus funciones están relacionadas con: el almacenamiento de

energía proporcionando 9 Kcal/gr, el aislamiento térmico, como repelente al agua por ejemplo en las plumas de las aves y de protección física. Están constituidos por una molécula de **glicerol**, que es un alcohol de tres carbonos y cada

uno de ellos tiene un grupo hidroxilo (-OH) (Fig. 1.13.A) y a cada uno de ellos se le une por condensación y pérdida de una molécula de agua un **ácido graso** (Fig. 1.13. A), que consiste en una cadena larga de carbonos que están en número



**Fig. 1.13.A.** Se muestra la molécula de glicerol, a la que se le une por condensación o deshidratación una molécula de ácido palmítico, que es un ácido graso saturado con 16 carbonos, y se elimina una molécula de agua. Campbell N. 2001.



**Fig. 1.13.B.** Es una grasa o triglicérido, formado por el ácido palmítico (16 carbonos) y esteárico (18 carbonos) que son ácidos grasos saturados y el de abajo es un ácido oléico de 18 carbonos y es insaturado por tener una doble ligadura. Campbell N. 2001.

par, saturados con hidrógenos y un grupo funcional carboxilo (-COOH) en un extremo, los cuales son hidrófobos y no polares. Se conocen como ácidos grasos **saturados** aquellos que poseen ligaduras sencillas en la cadena de carbonos, en cambio, los **insaturados** al menos tienen una doble ligadura (monoinsaturados) o bien dos o más (poliinsaturados) en la molécula. (Fig. 1.13.B)

Las grasas que son ricas en ácidos graso saturados tiene la consistencia sólida o

semisólida a temperatura ambiente, como la mantequilla y esto se debe a que los ácidos grasos saturados tienen un punto de fusión alto. Los principales ácidos grasos saturados son el esteárico (18 C) y el palmítico (16 C) y forman parte de casi todas las grasas de animales y vegetales.

El punto de fusión de los ácidos grasos insaturados depende del número de dobles ligaduras que tengan y será más bajo entre más dobles enlaces posea, por eso, son líquidos los aceites y

generalmente son de origen vegetal. Los principales ácidos grasos insaturados son: el oléico, que es el que tiene el aceite de oliva con 18 carbonos y una doble ligadura y el linoléico también con 18 carbonos, pero con dos dobles ligaduras. (Fig. 1.13. B)

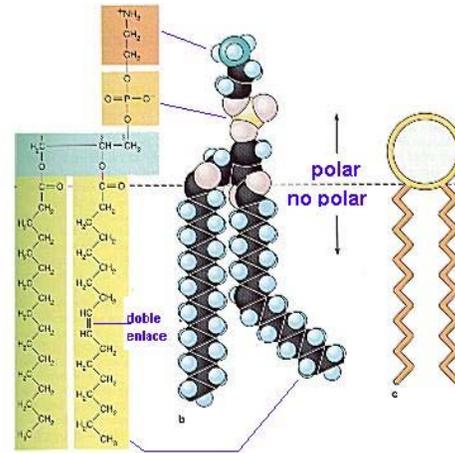
### \* Lípidos Compuestos

Los lípidos compuestos generalmente están constituidos por una molécula de glicerol, 2 ácidos grasos y otro tipo de sustancias, que pueden ser fosfatos, azúcares, bases nitrogenadas, etc.

Uno de los lípidos con importancia biológica son los **fosfolípidos** o **fosfoglicéridos**, ya que se encuentran formando la bicapa lipídica de las membranas celulares, tanto de células vegetales como animales. Estas moléculas están constituidas por un glicerol al que se le unen dos ácidos grasos, que bien pueden ser saturados, insaturados o ambos (Fig. 1.14.), uno en cada uno de los hidroxilo del glicerol; el tercer hidroxilo está ocupado por un grupo fosfato, al que a su vez se le une un compuesto orgánico polar que generalmente tiene nitrógeno (base nitrogenada), que puede ser colina, serina, etanolamina, etc.

En los fosfolípidos se puede observar que la parte de los ácidos grasos (dos colas) es hidrofóbica (no polar) y la sección del fosfato y el compuesto orgánico (cabeza) es hidrofílica (polar), a estas moléculas se les conoce como **anfipáticas** (Fig. 1.14.), lo cual determina muchas de las características que presentan.

La gran variedad de fosfolípidos que existen, se debe a los ácidos grasos y a los compuestos orgánicos que están presentes en la molécula.



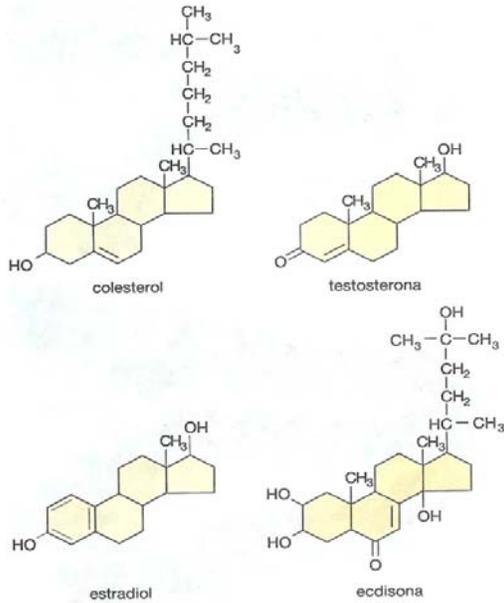
**Fig. 1.14. Fosfolípido en el que se observa la parte hidrofóbica formada por los ácidos grasos (colas) y la parte hidrofílica que corresponde al glicerol, fosfato y compuesto orgánico (cabeza).** <http://ar.geocities.com/moni2201/membrana celular.htm>

**Sabías que:** El veneno de algunas serpientes como la cobra, ciertos insectos y arañas, transforman la lecitina en lisolecitina, debido a que se elimina el ácido oleico del segundo carbono del glicerol; esto causa la hemólisis o desintegración de los glóbulos rojos de la sangre.

También los glucolípidos son importantes ya que intervienen como marcadores en las membranas celulares e intervienen en la especificidad de los tejidos y órganos. Como su nombre lo dice, esta presente un carbohidrato siendo generalmente una glucosa o una galactosa, que se une a un grupo hidroxilo del glicerol.

### \* Esteroides o Lípidos Derivados

Los esteroides o lípidos derivados son moléculas complejas, insolubles en agua, que tienen un sistema de cuatro anillos fusionados, unidos a diversas cadenas laterales y de éstas dependerá el esteroide de que se trate. (Fig. 1.15.)



**Fig. 1.15.** Cuatro ejemplos de esteroides, en los que se muestra que la diferencia se debe a los grupos funcionales de las cadenas laterales. a) esta en las membranas celulares, en la vaina de mielina b) es la hormona sexual masculina, c) hormona sexual femenina (tipo de estrógeno) d) hormona de insectos que causa el desprendimiento del exoesqueleto. Audesirk T. 2001.

Las funciones que realizan los esteroides son muy variadas, el colesterol tiene función estructural, ya que forma parte de las membranas celulares y también sirve de precursor de las hormonas sexuales femeninas y masculinas, así como, de las sales biliares, la vitamina D, entre otras.

**Sabías que:** el colesterol se obtiene de la síntesis en el hígado y de los alimentos que se consumen. Hay colesterol de alta densidad (bueno) y de baja densidad (malo) y la concentración alta (más de 200mg/dL. de sangre) se relaciona con la aterosclerosis, ataques al corazón y enfermedades cardiovasculares.

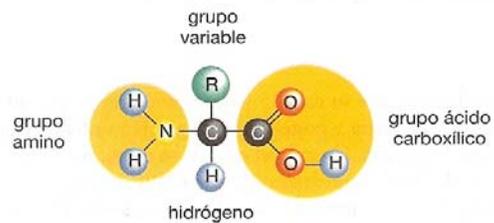
### Proteínas

Las proteínas son biomoléculas formadas por C, H, O, N, además de otros elementos como S, Fe, etc. Son

macromoléculas de alto peso molecular, formado por unas subunidades llamadas **aminoácidos**.

### \* Aminoácidos

Los aminoácidos están constituidos por un carbono central asimétrico o alfa ( $\alpha$ ), al que se le une un grupo funcional amino ( $-\text{NH}_2$ ), un grupo carboxilo ( $-\text{COOH}$ ), un hidrógeno y un grupo R, que tiene la característica de ser variable y dependiendo del grupo que sea, serán las propiedades que presente. (Fig.1.16.)



**Fig. 1.16.** Fórmula general de los aminoácidos. Se muestra como están unidos al carbono asimétrico el grupo amino, carboxilo, el hidrógeno y R; que será el que determine las características del aminoácido, Audesirk, T. 2001.

Existen en la naturaleza un gran número de aminoácidos, pero solo 20 se encuentran formando a las proteínas. (Fig. 1.17); de estos, diez no pueden ser sintetizados por el hombre y se les llama **esenciales**, por lo que deben incluirse en la dieta y son: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina, histidina, y en niños arginina.

Los aminoácidos se agrupan de acuerdo a las características de las cadenas laterales (R), por lo que pueden ser polares (hidrofilicos), no polares (hidrofóbicos), ácidos y básicos. (Fig. 1.17)

La R de los aminoácidos define las características físicas y químicas (tamaño, solubilidad y carga eléctrica) que poseen,

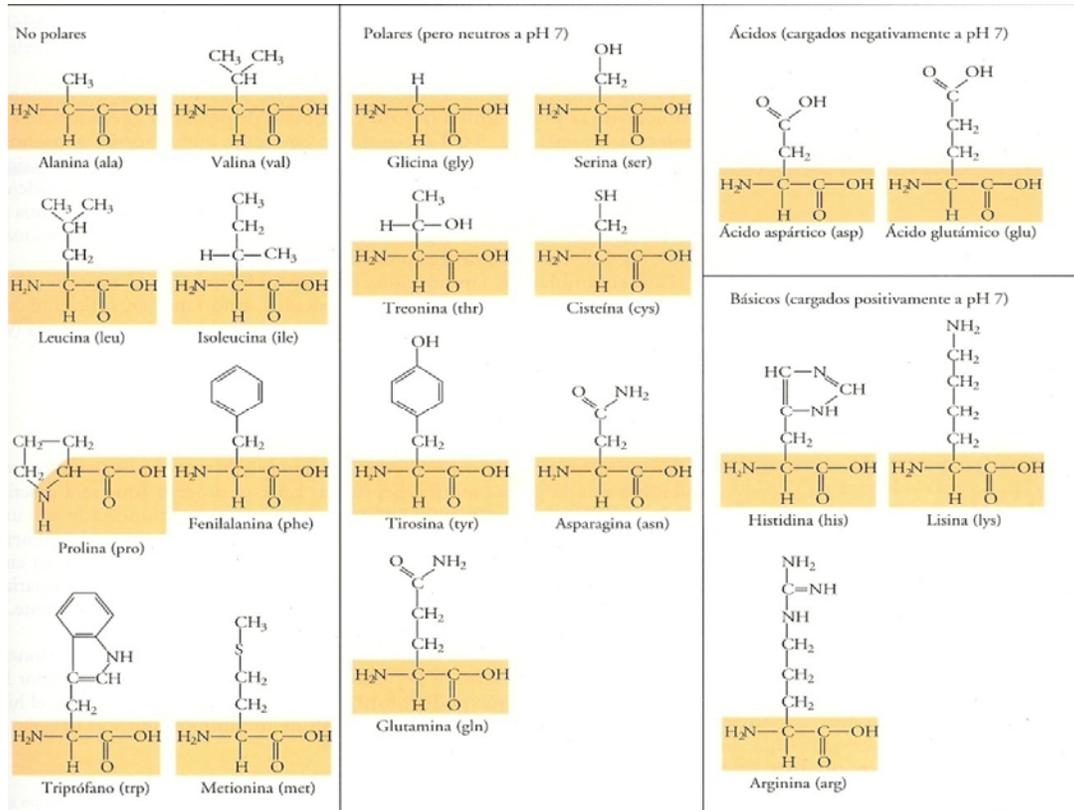


Fig. 1.17. Fórmulas de los 20 aminoácidos que constituyen a las proteínas. Curtis H. 2001.

por lo tanto, la secuencia de éstos determinan la función y características de las proteínas.

Existen varios miles de proteínas diferentes, las cuales son el resultado de la unión de los aminoácidos, que se realiza entre el -OH del grupo carboxilo de un aminoácido y el -H del grupo amino del otro, formándose de ésta manera un enlace covalente llamado **enlace peptídico**, además de la liberación de una molécula de agua. (Fig. 1.18.), dando lugar a un dipéptido y al aumentar el número será un polipéptido.

La variedad de proteínas se debe a la secuencia, el número y el tipo de aminoácidos que la componen, y como consecuencia, realizan una gran variedad de funciones en los organismos, entre las que destacan:

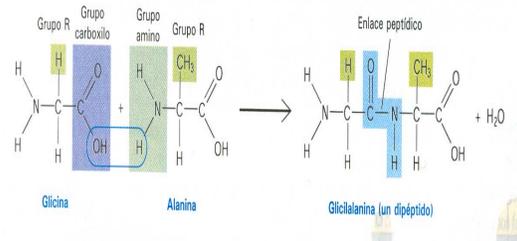


Fig. 1.18. La formación del enlace peptídico entre el aminoácido glicina y alanina, en el que se forma un dipéptido (combinación de dos aminoácidos) y se elimina una molécula de agua. Solomon E. 2001.

- Enzimática (tripsina, lactasa, etc.)
- Transportadora como la hemoglobina (transporta O<sub>2</sub> en sangre) y mioglobina (O<sub>2</sub> en músculo).
- Contráctil (actina y miosina).
- Como protección y defensa, los anticuerpos.
- Reguladora (hormonas, del crecimiento e insulina).

- f) Estructural queratina (cabello, cuernos y uñas), colágeno (tendones, cartílago), elastina (ligamentos), fibroína (la seda y la tela de las arañas).
- g) Receptoras de virus y bacterias
- h) Coagulación de la sangre; (fibrinógeno)
- i) Reguladoras de los genes: histonas (asociadas al ADN).

Las proteínas pueden estar constituidas por una o varias cadenas de aminoácidos y presentar una conformación tridimensional, por lo que pueden ser largas fibras y se les conoce como **fibrosas**, o bien estar plegadas sobre si mismas, teniendo una apariencia redondeada y se les llama **globulares**.

La complejidad de la estructura de una proteína esta definida por los cuatro niveles de organización, que son:

**Estructura primaria:** Se debe a la secuencia específica de aminoácidos que forman a la cadena de cada proteína. (Fig. 1.19.)

**Estructura secundaria:** Se refiere a la configuración espacial de la proteína, que se debe, a los puentes de hidrógeno que se forman entre los aminoácidos de la cadena polipeptídica, es decir, entre el oxígeno del grupo carboxilo de un aminoácido con el hidrógeno del grupo amino del cuarto aminoácido, lo que causa que la molécula se enrolle sobre si misma y tome la forma espiral similar a un resorte o alfa hélice (Fig. 1.19.). Lo presentan las proteínas fibrosas como la de la lana, el pelo, etc. Existe un segundo tipo que es el de la lámina plegada o lámina plegada  $\beta$ , que es el resultado de la formación de puentes de hidrógeno entre cadenas adyacentes o diferentes regiones de la misma, ejemplo la seda.

**Estructura terciaria:** Consiste en que la proteína toma una forma esférica u oval,

debido a que se forman otros tipos de enlaces como los puentes disulfuro, las interacciones iónicas, etc. entre los grupos R de los aminoácidos, causando que la proteína se vaya plegando o torciendo y se forme una proteína globular como las enzimas. (Fig.1.19.)

**Estructura cuaternaria:** Es la más compleja, ya que esta formada por dos o más cadenas polipeptídicas o subunidades unidas entre si, por fuerzas de atracción no covalentes. Las subunidades pueden ser iguales o diferentes, por ejemplo la hemoglobina. (Fig. 1.19.). (Realizar la actividad práctica “Identificación de Biomoléculas”).

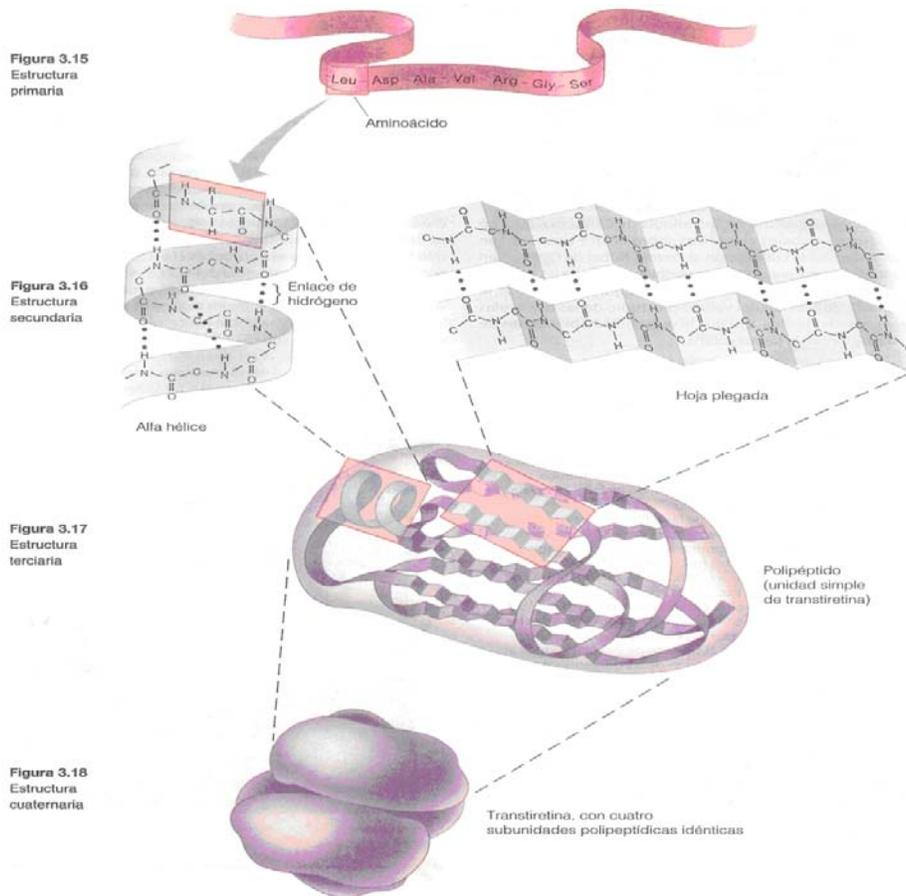
**\* Desnaturalización**

Factores como pH, temperaturas altas, presencia de ácidos o bases, agentes reductores, detergentes, urea o solventes orgánicos, así como la agitación vigorosa, y la exposición a rayos X o ultravioleta, provocan que las proteínas pierdan su configuración normal, es decir que cambia su estructura ya sea secundaria, terciaria o cuaternaria, por lo tanto pierde su actividad biológica, disminuye su solubilidad, viscosidad, etc., por ejemplo al calentar la clara de huevo se coagula, porque se desnaturalizó la albúmina.

**Sabías que:** Un tipo de proteínas son las enzimas y catalizan casi todas las reacciones que realiza la célula. Son específicas, es decir que hay una para cada reacción. Las enzimas son proteínas globulares y tienen un sitio activo donde se acomoda el sustrato y lleva a cabo la reacción. Algunas enzimas además de la proteína (apoenzima) necesitan de otra molécula, si es inorgánica es un cofactor como iones metálicos o si son orgánicas es una coenzima, como algunas vitaminas.

**Ácidos Nucleicos**

Existen dos tipos de ácidos nucleicos que son: el **ARN** o **ácido ribonucleico** y el



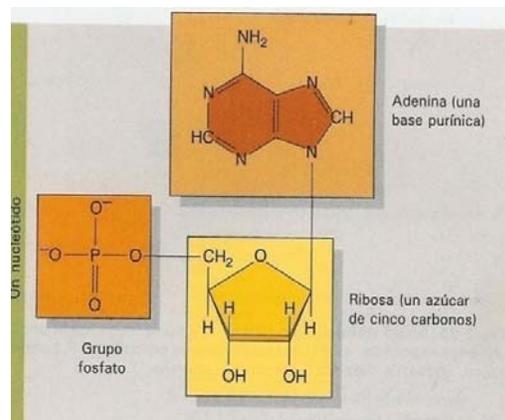
**Fig. 1.19.** Estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas. Campbell N. 2001.

**ADN** o **ácido desoxirribonucleico**, ambos están presentes en todas las células y constituyen entre el 5 y 15 % del peso seco de la célula. Se definen como polímeros lineales, complejos y de alto peso molecular, formados por unas subunidades o monómeros llamados **nucleótidos**. Están relacionados con la transmisión de la información genética, la determinación de la estructura, función y síntesis de proteínas, por lo que controlan la vida de la célula y de los organismos. Se localizan principalmente en el núcleo de las células, así como en los ribosoma, mitocondrias, cloroplastos y citoplasma.

**\* Nucleótidos**

Los nucleótidos son moléculas constituidas por tres partes que son: un

**grupo fosfato** ( $H_3PO_4$ ), que se une a un **azúcar** de cinco carbonos y a su vez a una **base nitrogenada** que puede ser una purina o una pirimidina. (Fig.1.20.)



**Fig. 1.20.** Partes de un nucleótido. Solomon E. 2001.

Los azúcares que están presentes en los ácidos nucleicos, son monosacáridos o azúcares simples de cinco carbonos o pentosas y son la **ribosa** o la **desoxirribosa**. (Fig. 1.21.)

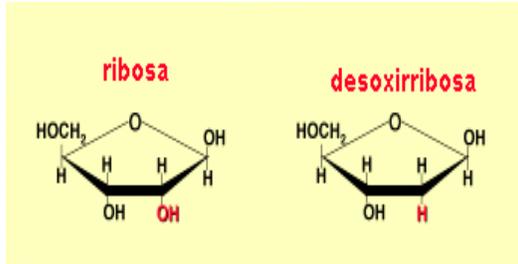


Fig. 1.21. La diferencia entre la ribosa y la desoxirribosa esta en el carbono 2, la ribosa tiene un  $-OH$ , mientras que la desoxirribosa tiene solo un  $-H$ . [www.arrakis.es/~lluengo/anucleicos.html](http://www.arrakis.es/~lluengo/anucleicos.html).

Las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos son compuestos heterocíclicos de dos tipos, las púricas (**adenina A** y **guanina G**) y las pirimidicas (**citocina C**, **uracilo U** y **timina T**). (Fig. 1.22.)

Para que se forme un nucleótido, el fosfato se une al azúcar por el carbono 5 (C-5')\*, la base nitrogenada si es púrica a través del nitrógeno número 9 (N-9) se une al carbono 1 (C-1') del azúcar (Fig. 1.20.); en caso de que sea una base pirimidica, será por el nitrógeno 1 (N-1) que se une al azúcar.

#### \* Ácido desoxirribonucleico

El 25 de abril de 1953, en la revista *Nature*, James Watson y Francis Crick, dieron a conocer la estructura tridimensional del ADN, por lo que en 1962 recibieron, junto con Maurice Wilkins el premio Nobel en Fisiología y Medicina.

La molécula de ADN esta constituida por el azúcar desoxirribosa y las bases nitrogenadas adenina, guanina, timina y citosina. Un nucleótido se une al anterior

\*Los átomos del azúcar se marcan poniendo el número y una comilla C-1' y los de las bases solo el número. N-1.

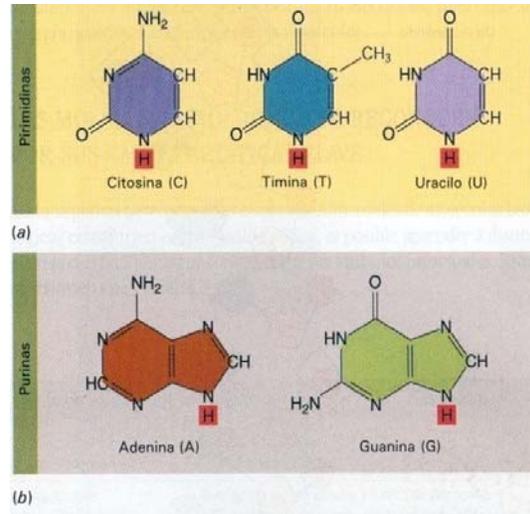


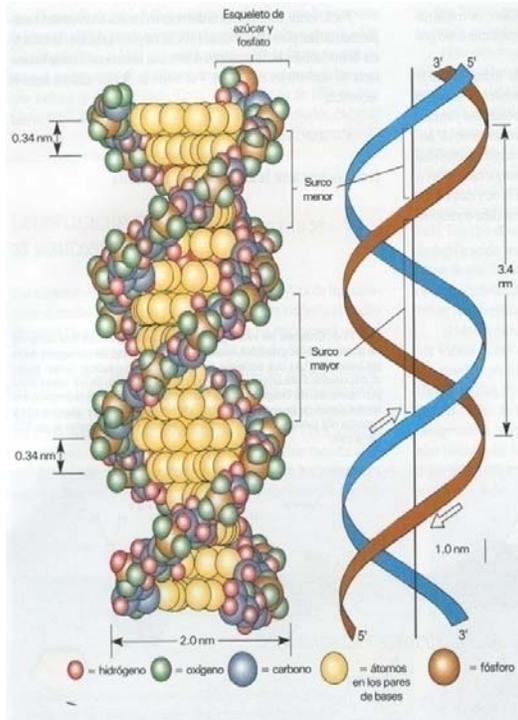
Fig. 1.22. Las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos a) pirimidicas b) púricas Solomon E. 2001.

a través del fosfato, que se une al(C-3') carbono 3 del azúcar del nucleótido anterior y así sucesivamente. (Fig.1.24.)

La estructura del ADN esta formada por dos cadenas o bandas de nucleótidos enrolladas en torno a un eje, que giran a la derecha, dando como resultado una escalera de caracol o una **doble hélice** (Fig. 1.23.). Las dos cadenas se hallan unidas entre si, por puentes de hidrógeno que le proporcionan estabilidad y que se forman entre los pares opuestos de bases nitrogenadas que son complementarias es decir, que si una cadena tiene adenina (A) enfrente estará una timina (T) o una guanina (G) enfrente de una citosina (C); y se localizan en el centro de la molécula. Fig. 1.24.). La parte de la desoxirribosa-fosfato constituyen el esqueleto de la molécula de ADN.

Las cadenas de nucleótidos son **antiparalelas**, es decir, que una cadena va en el sentido C-3'→C-5' y la otra en C-5'→C-3, de modo que, coincidan las bases nitrogenadas. (Fig. 1.23.)

El ADN es muy importante, ya que es parte integral de los cromosomas, por tanto, contiene la información hereditaria de los organismos. Se localiza en el núcleo de las células o en el citoplasma,



**Fig. 1. 23. Estructura del ADN. Se observa las dos cadenas de nucleótidos, la doble hélice y las dimensiones. Solomon E. 2001.**

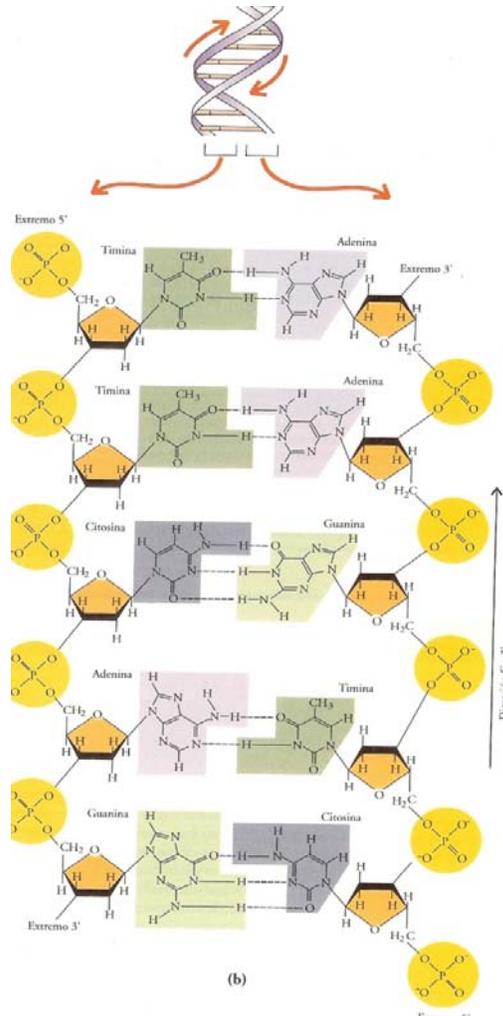
así como, en las mitocondrias y los cloroplastos. (Realizar actividad práctica “Elaboración de un modelo de ADN”)

**\* Ácido ribonucleico**

Los nucleótidos del ácido ribonucleico o ARN, están formados por un fosfato que se une al azúcar ribosa en el C-5' y una base nitrogenada que puede ser adenina (A) o uracilo (U) o guanina (G) o citosina (C) por el C-1' (de la ribosa), formando una sola cadena de nucleótidos y de menor tamaño que la del ADN. (Fig. 1.25.) y (Fig. 1.27.)

El ARN interviene en la síntesis de proteínas por esta razón, existen tres tipos: el ARN mensajero (ARNm), el ARN ribosomal (ARNr) y el ARN de transferencia (ARNt). (Fig. 1.26.)

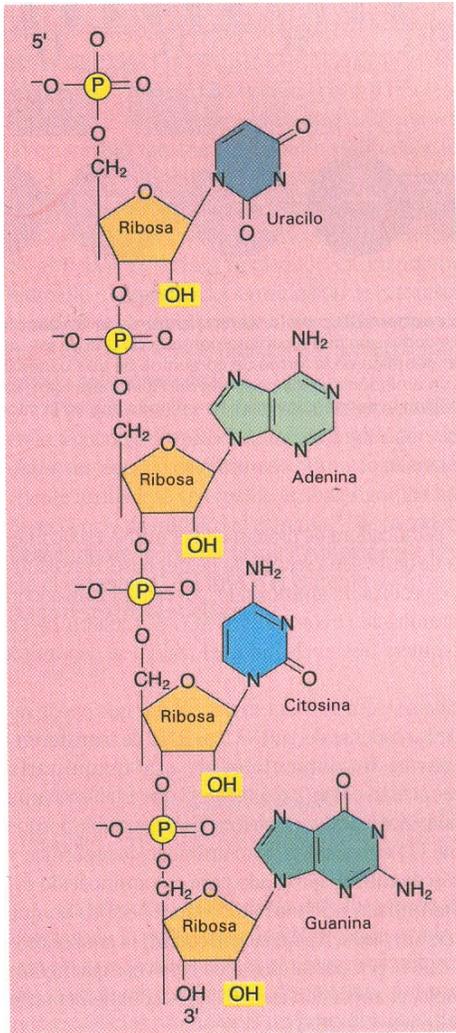
El ácido ribonucleico mensajero (ARNm) es el que se encuentra en menor cantidad



**Fig. 1.24. Se muestran las bases complementarias timina-adenina y citosina-guanina, además de los puentes de hidrógeno que las unen, así como, el antiparalelismo de la molécula y la unión del fosfato de un nucleótido con el C-3' del azúcar del nucleótido anterior. Curtis H. 2001.**

y no rebasa el 5 % del ARN total de la célula, es lineal, de tamaño variable y la secuencia de bases que contiene es la misma que tiene el ADN; ya que se sintetiza a partir de él y es necesario para la síntesis de una proteína, ya que define la secuencia de los aminoácidos.

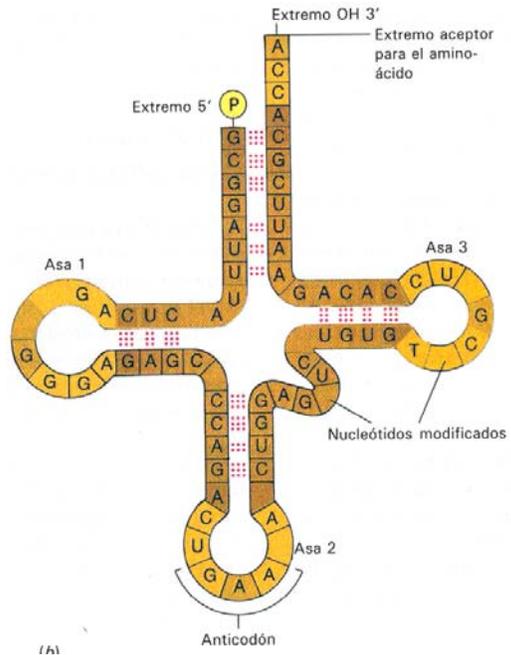
El ácido ribonucleico ribosomal (ARNr) es el más abundante en la célula, pudiendo llegar hasta el 80% del total del



**Fig. 1.25. Molécula de ARN, donde se muestra las bases nitrogenadas típicas del ARN, la ribosa, las uniones y la forma de la molécula. Solonon E. 2001.**

ARN que posee la célula. Tiene función estructural, ya que se encuentra formando a los ribosomas (organelos celulares) y aproximadamente un 65 % de ellos es ARNr y el resto proteínas. También interviene directamente en la síntesis de las proteínas.

Ácido ribonucleico de transferencia (ARNt) son moléculas pequeñas, que contienen entre 73 y 93 nucleótidos. La cadena sufre una serie de plegamientos o dobleces, por los que se forman dos o tres asas, que le da el aspecto de una hoja de trébol. (Fig. 1.26.)



**Fig. 1.26. Molécula de ARNt. Se muestra los dobleces que sufre para formar las asas y los puentes de hidrógeno (rojos) que estabilizan a la molécula. Solomon E. 2001.**

Existen en las células alrededor de 60 moléculas de ARNt diferentes, así que por lo menos hay uno para cada tipo de aminoácido, debido a que su función es transportarlos del citoplasma al ribosoma, para que se lleve a cabo la síntesis de proteínas.

Comparación de la estructura del ADN y ARN		
	ADN	ARN
Azúcar	Desoxirribosa	Ribosa
Bases	Adenina, guanina, timina y citosina	Adenina, guanina, uracilo y citosina
Cadenas	Dos, con apareamiento de bases	Una cadena
Hélice	Sí	No

**Fig. 1.27. Cuadro comparativo de las características del ADN y el ARN. Mader S. 2005.**

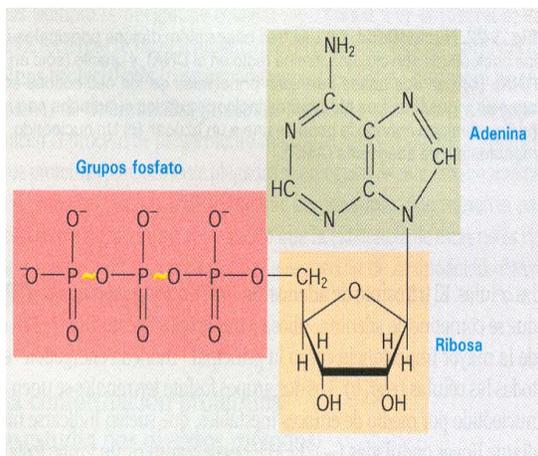
### \* Otros nucleótidos

Existen otros nucleótidos que también tienen importancia biológica y no están relacionados con los ácidos nucleicos, sin embargo, su estructura es igual y cuentan con: fosfato-azúcar-base nitrogenada.

El **adenosin trifosfato** o **ATP** es un nucleótido que tiene ciertas diferencias, como en lugar de tener un fosfato tiene tres, que se unen por el C-5' a la ribosa (azúcar) y al C-1' se une la adenina (base nitrogenada). (Fig. 1.28.)

En los enlaces de los fosfatos esta contenida energía (Fig.1.28.), que es liberada al romperse éstos, por lo que la función que desempeña en la célula es la de portador y transportador de energía.

Otros nucleótidos serían el flavin adenin dinucleótido (FAD), el nicotinamida adenin dinucleótido (NAD), monofosfato de adenosina cíclico (AMPc), etc., todos éstos son importantes para la célula.



**Fig. 1.28. Molécula del adenosin trifosfato (ATP). Los enlaces de los fosfatos (líneas onduladas amarillas) son ricos en energía, que al romperse es liberada. Solomon E. 2001.**

## LA ESTRUCTURA CELULAR

Todos los seres vivos ya sean unicelulares

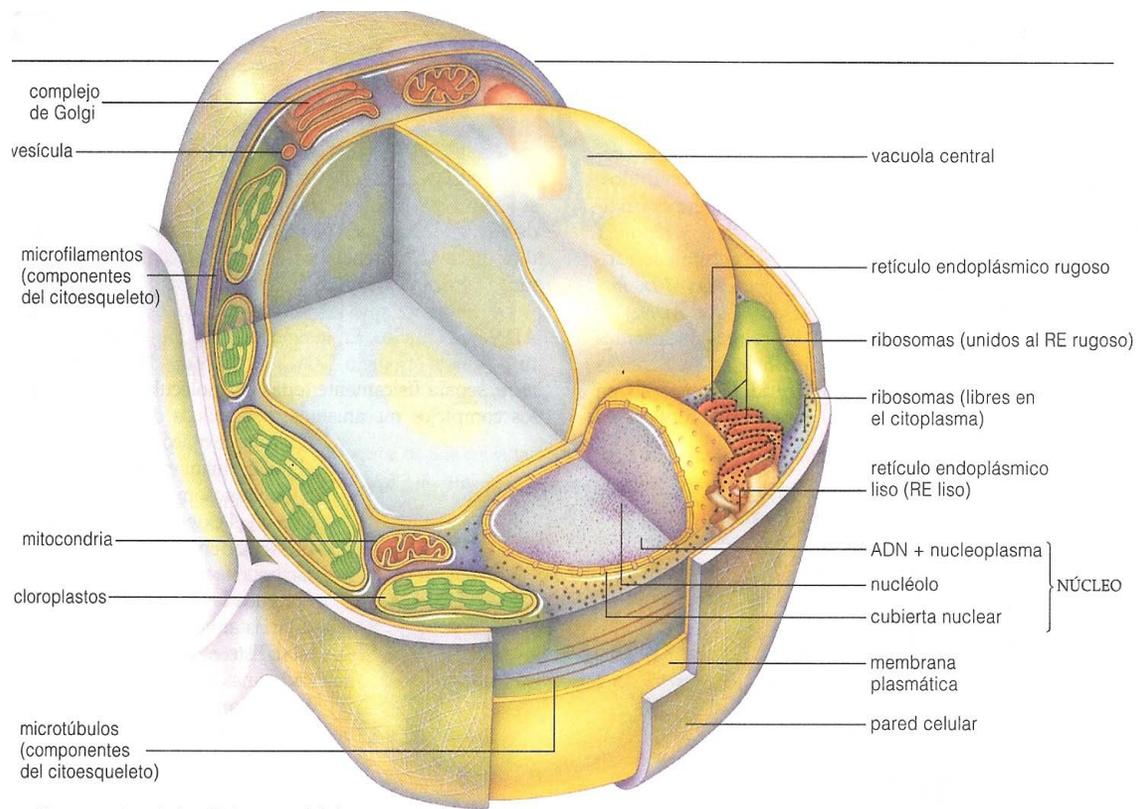
o multicelulares tienen en común que están formados por **células**, las cuales pueden variar de forma, tamaño, color, actividad y en la presencia o ausencia de algunos organelos celulares. Todas las células están organizadas estructuralmente para llevar a cabo una gran cantidad de funciones como: realizar el metabolismo, percibir y responder a las características de su entorno y transmitir las instrucciones hereditarias que están contenidas en su ADN a su descendencia. Se podría decir que “la célula es un microcosmos de vida, ya que es la unidad más pequeña que puede llevar a cabo todas las actividades propias de los seres vivos”.

Para poder comprender todas las funciones y características de las células, es necesario conocer como están construidas, para eso se revisarán los organelos y estructuras que están formando a la célula tanto vegetal como animal, así como las funciones que realizan. (Fig. 1.28. Bis)

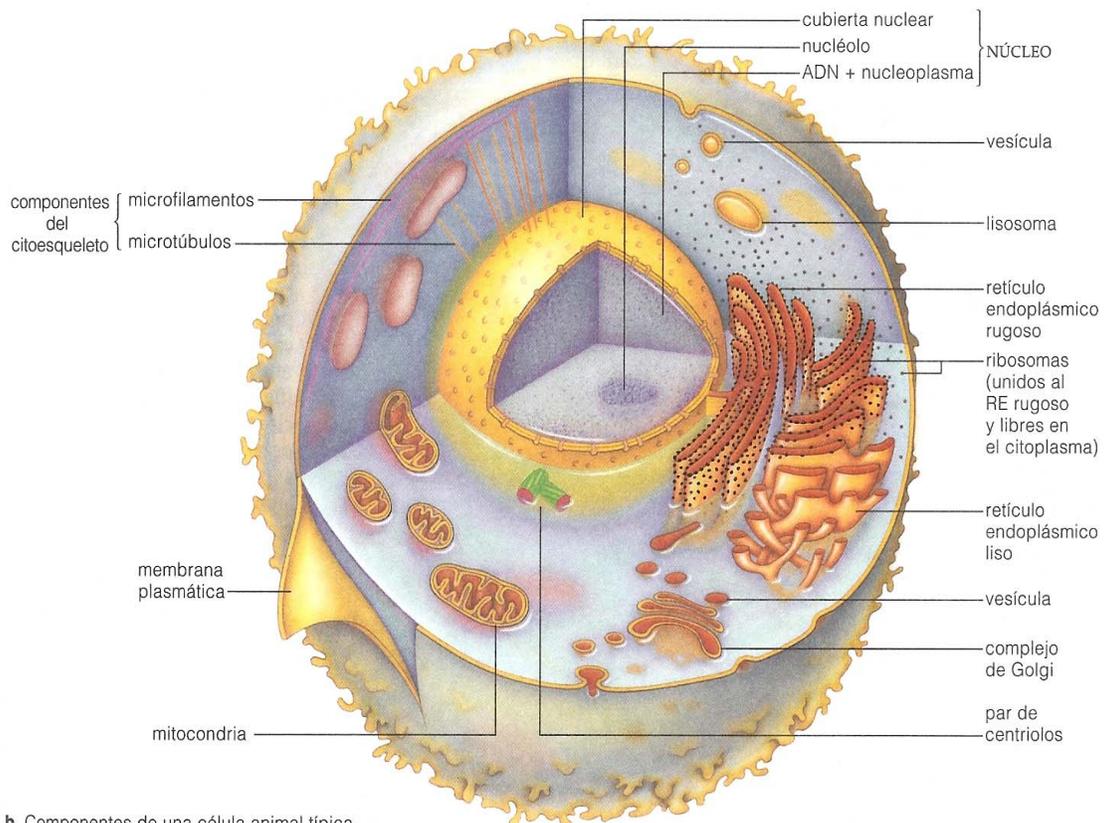
### \* Membrana plasmática o celular

La membrana plasmática es común a todas las células y se encuentra rodeándolas, separando dinámicamente la parte interna de la externa, además se comporta como un filtro muy selectivo o semipermeable, que permite la entrada y salida de sustancias adecuadas (de acuerdo al tamaño y la carga) e impide la entrada a las inadecuadas.

Tanto la membrana plasmática como las membranas internas, tienen en común la estructura, que se explica con el **modelo del mosaico fluido** propuesto en 1972 por Garth Nicholson y S. Singer. (Fig.1.30.)



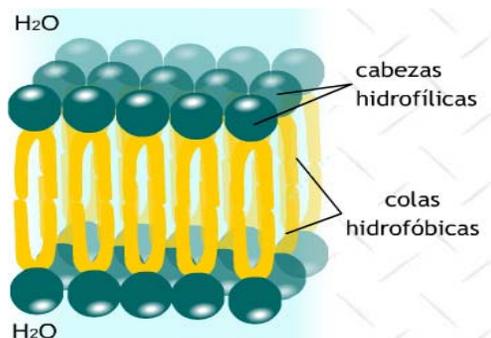
a Componentes de la célula vegetal típica.



b Componentes de una célula animal típica.

**Fig. 1.28. Bis. Célula vegetal y animal. Starr C. 2005.**

La membrana plasmática mide de 4 a 5 nm de grosor (1 nanómetro nm = 1/1,000,000,000 m), esta formada por una bicapa fluida de **fosfolípidos** que por ser anfipáticos, se disponen con las colas que son hidrofóbicas hacia el interior, quedando de ésta manera las cabezas, que son hidrofílicas hacia la superficie interna y externa de la célula, en la que esta presente el agua (Fig.1.29), por lo que se le considera como el componente principal de las membranas.



**Fig.1.29. Representación esquemática de los fosfolípidos de la membrana celular.**  
[www.biologia.edu.ar/cel\\_euca/la\\_membrana\\_celular.htm](http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/la_membrana_celular.htm)

Otro componente de la membrana en células animales es el **colesterol**, mientras, que en células vegetales es un fitoesterol. En ambos casos se encuentran intercalados entre los fosfolípidos, proporcionándole fluidez y aumentando la estabilidad mecánica de la bicapa de fosfolípidos e impidiendo los cambios drásticos en la membrana. (Fig. 1.30.)

También contiene la membrana plasmática **glucolípidos** (azúcar + lípidos), que en el extremo tienen uno o más azúcares (oligosacáridos) y esta parte queda expuesta a la superficie externa de la célula y no existe en la capa interna de la bicapa y se relaciona con la comunicación intercelular. Esta es una de las razones por lo que se considera que la membrana celular es **asimétrica**, ya que la composición de los lípidos y proteínas es diferente en la cara interna y externa

de la membrana, por ejemplo, en la superficie intracelular se lleva a cabo la unión de las fibras del citoesqueleto con las proteínas integrales (Fig. 1.30.). Las diferencias que hay entre las capas de fosfolípidos de la membrana, están relacionadas con las funciones que realizan.

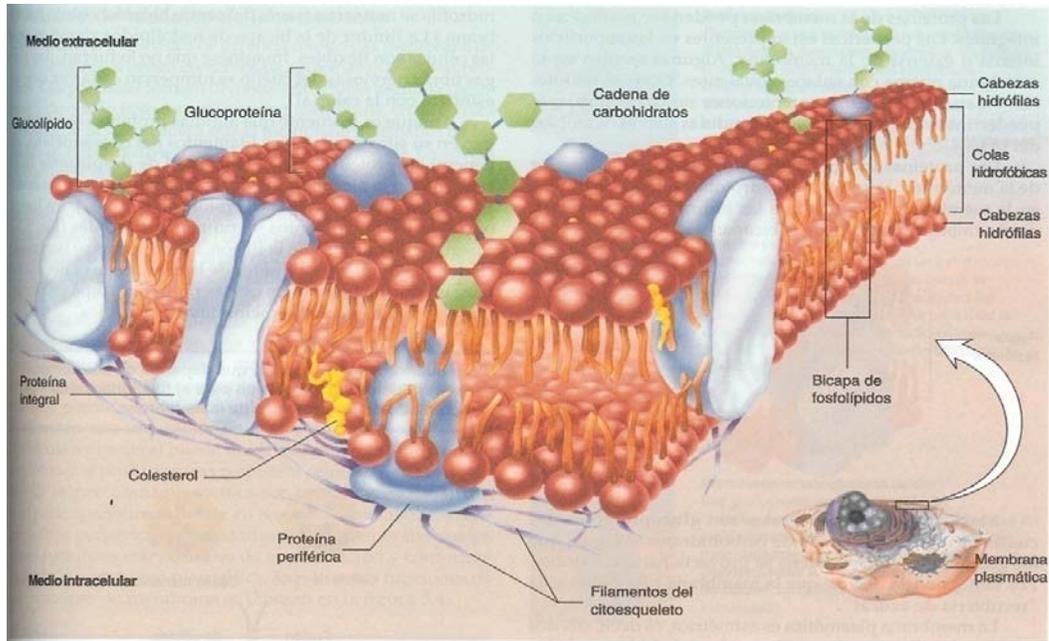
El **glucocáliz** es la zona periférica de la superficie exterior de la membrana, que se encuentra en la mayoría de las células eucariotas. Esta formado por los oligosacáridos o azúcares que pueden estar unidos a los fosfolípidos (glucolípidos) o a las proteínas (glucoproteínas), y probablemente interviene en los procesos de reconocimiento célula-célula, de protección a la superficie celular contra lesiones y en procesos inmunitarios principalmente.

El tercer tipo de compuestos que están presentes en la membrana celular son las **proteínas**, que pueden ser **periféricas** si se localizan en la superficie interna o externa de la membrana (Fig.1.30), o bien, **integrales** ya que están presentes en el interior de la bicapa de fosfolípidos y determinan en gran medida las funciones específicas de la membrana. (Fig 1.30.)

En la membrana existen diferentes tipos de éstas proteínas, como las que realizan la función de ser receptoras, enzimáticas, de reconocimiento celular, de comunicación y de transporte.

### \* **Citoplasma**

Constituye la mayor parte de la masa de las células, posee una organización muy compleja, se sitúa entre la envoltura nuclear y la membrana celular; tiene la apariencia de una masa amorfa gelatinosa. Esta constituido por aproximadamente un 70% de agua, entre 15 y 2% de proteínas, además de iones inorgánicos, moléculas orgánicas pequeñas y macromoléculas, además, de enzimas solubles y una serie



**Fig.1.30. Esquema del modelo del mosaico fluido de la membrana plasmática. Se muestra la bicapa de fosfolípidos, los glucolípidos, las proteínas integrales y periféricas. Mader S. 2003.**

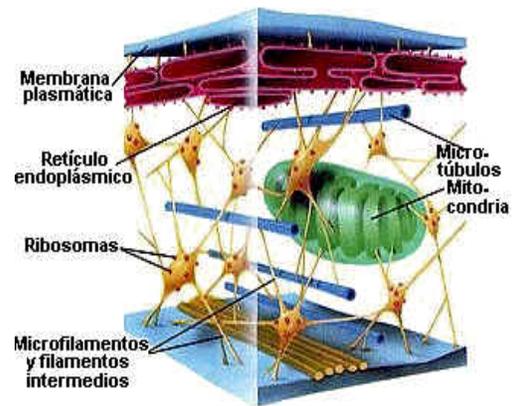
de estructuras celulares llamadas **organelos**, que están especializados en determinadas funciones en el interior de la célula, además, es el lugar donde se lleva a cabo la mayoría de las reacciones metabólicas de la célula. (Fig. 1.28. Bis.)

El **citósol** es el citoplasma situado alrededor de los organelos y es donde específicamente se lleva a cabo las reacciones del metabolismo intermedio, contiene una gran variedad de enzimas por ejemplo, las de la glucólisis, además de agua, iones, glucosa, aminoácidos, nucleótidos, etc.

**\* Citoesqueleto**

Esta estructura es característica de las células eucariota y consiste en una red organizada de filamentos y túbulos de proteínas interconectadas entre sí, que van desde la membrana plasmática hasta la envoltura nuclear, extendiéndose a través de todo el citoplasma. Es un sistema dinámico que esta cambiando

constantemente ya que puede ensamblarse y desensamblarse o desaparecer rápidamente, dependiendo de las necesidades de la célula. Interviene en el movimiento ésta y de sus organelos, en el mantenimiento de la forma de la célula, da soporte mecánico y participa en el transporte de materiales dentro de la célula, así como en la división celular. (Fig.1.31.)

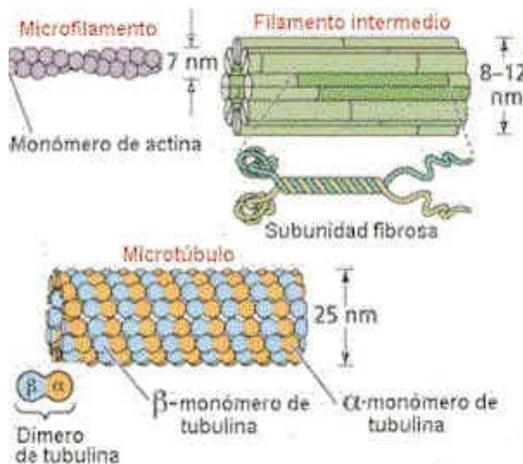


**Fig. 1.31. Esquema del citoesqueleto. Se observan los filamentos intermedios, los microfilamentos y los microtúbulos. [http://www.biologia.edu.ar/cel\\_euca/celula3](http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/celula3)**

El citoesqueleto está constituido por tres tipos de filamentos que son: a) **microfilamentos** o **filamentos de actina**, b) **filamentos intermedios** y c) **microtúbulos**. (Fig.1.32.)

a) Estos filamentos están compuestos por una doble cadena enroscada de **actina** (proteína, globular) y forman fibras largas y muy delgadas que miden entre 6 y 7 nm de diámetro y varios nm. de largo, constituyendo una densa y compleja red tipo malla. Participan en el cambio de forma y movimiento de las células, dan soporte mecánico a estructuras celulares y permiten la formación de pseudópodos. (Fig.1.32)

b) Los filamentos intermedios están formados por un conjunto de proteínas fibrosas que son resistentes y estables, miden entre 8 y 11 nm. de diámetro, con una longitud de entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ . Intervienen en la estabilización de la forma de la célula, dan sostén a la envoltura nuclear y tienen la particularidad de no desensamblarse fácilmente. (Fig.1.32.)



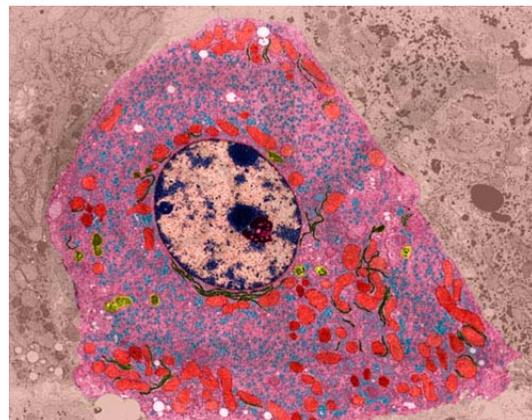
**Fig. 1.32. Estructura de los microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos del citoesqueleto.** [http://www.biologia.edu.ar/cel\\_euca/celula3.htm](http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/celula3.htm)

c) Los microtúbulos están constituidos por la proteína globular llamada **tubulina**, que

forma unos cilindros huecos de aproximadamente 25 nm de diámetro y pueden ensamblarse de manera controlada, ya que existen centros organizadores de microtúbulos. Participan en el movimiento de los cilios, flagelos y los cromosomas durante la división celular, ayudan a mantener la forma de la célula y actúa como guía en el movimiento de los organelos. (Fig.1.32.)

### \* Núcleo

El núcleo es una estructura característica de células eucariota, es de forma esférica o irregular, mide alrededor de  $5\mu\text{m}$  de diámetro y es la estructura más prominente de la célula; el tamaño y el número pueden variar, dependiendo de la célula de que se trate. Su ubicación es más o menos en la zona central de la célula. (Fig.1.33.)



**Fig. 1.33. Se observa el núcleo de una célula, con la envoltura nuclear, el nucleoplasma y nucleolo.** <http://www.biologia.edu.ar/celeuca/celula2.htm>

Contiene a la cromatina (ADN y proteínas), el nucleoplasma que es el medio interno semilíquido del núcleo, donde se encuentran los componentes nucleares, además de uno o más nucleolos y está rodeado por la envoltura nuclear. (Fig.1.33.). Las funciones que realiza son muy importantes, ya que debido a que contiene al ADN, interviene en la transmisión de las características hereditarias de padres a hijos, así como,

controlar la estructura, la actividad, el desarrollo y el funcionamiento celular.

**Envoltura nuclear:** También se le conoce como membrana nuclear y es característica de las células eucariotas. Es la estructura que limita, aísla al núcleo y lo separa del resto de la célula, esta formada por una doble membrana, en la que hay un espacio intermembranoso llamado espacio perinuclear que mide entre 20 y 40 nm. Las dos membranas están formadas por bicapas lipídicas con diferentes proteínas, lo que determina la función que realizan. (Fig. 1.34.)

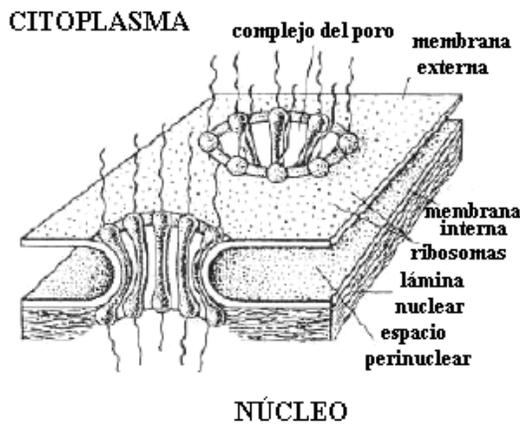


Fig. 1. 34. Esquema del corte de la envoltura nuclear, en la que se muestra la membrana interna, externa, el complejo del poro y el espacio perinuclear. <http://fai.unne.edu.ar/biologia/batánica/tema9/9-1nucleo.htm>

La membrana externa se continúa con la membrana del retículo endoplásmico y con frecuencia esta cubierta por ribosomas. La membrana interna en ciertos lugares se une con la membrana externa, formando unos orificios llamados **poros nucleares** y cada uno esta rodeado por una estructura discoidal, que se conoce como **complejo del poro nuclear**. (Fig. 1.34.)

El complejo del poro tiene alrededor ocho grandes gránulos proteicos (Fig.1.34.) y al centro se observa un orificio, que es un poro acuoso que forma un canal y es el encargado del intercambio de moléculas entre el citoplasma y el núcleo. (Fig. 1.35.)

La razón de que la envoltura nuclear esté formada por una doble membrana es que son diferentes tanto bioquímicamente como funcionalmente, ya que la interna estará en contacto con el nucleoplasma y la externa con el citoplasma.

Una célula típica de mamífero, tiene entre 3,000 a 4,000 complejos de poros nucleares en la envoltura nuclear.

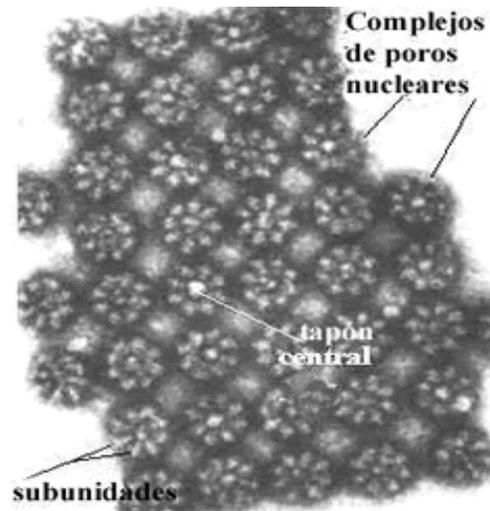


Fig.1.35. Se observa los ocho gránulos de proteína que rodean al poro (centro). <http://fai.unne.edu.ar/biologia/botanica/tema9/9-1nucleo.htm>.

**Nucleolo:** Se identifica por ser la región más oscura del núcleo, tiene forma ovoide o esférica, el tamaño y el número es variable. (Fig. 1.33.)

Esta estructura carece de membrana propia y tiene un organizador nucleolar, que es un fragmento de ADN relacionado con la síntesis del ARN ribosomal (ARNr) que ahí mismo se sintetiza, y las proteínas necesarias para construir las subunidades de los ribosomas pasan del citoplasma al núcleo y una vez formadas dichas subunidades salen al citoplasma, donde se unirán para formar los ribosomas.

## \* Retículo Endoplásmico

Es un organelo celular constituido por una doble membrana, que forma una red de sacos aplanados, tubos y canales conectados entre sí, a eso se debe su nombre y viene del griego que quiere decir “*red dentro de la célula*” y es característico de las células eucariotas.

El retículo endoplásmico RE es un sistema de membranas, que constituye aproximadamente el 50% del total de las membranas de la célula. Se origina en la membrana externa de la envoltura nuclear, ya que es una prolongación de ella, por lo que es un saco cerrado, cuyo interior se conoce como **lúmen del retículo endoplásmico**.

Se distinguen dos tipos de retículo endoplásmico que son morfológicamente y funcionalmente distintos y corresponden al **retículo endoplásmico liso (REL)** y el **retículo endoplásmico rugoso (RER)**.

El retículo endoplásmico liso (REL) es una red de finos túbulos que tienen un aspecto liso, ya que no tiene ribosomas adheridos. (Fig. 1.36.). La función que desempeña en la célula esta relacionada con la **síntesis de lípidos** como esteroides, fosfolípidos, ácidos grasos, colesterol, etc, así mismo interviene en el proceso de **destoxificación**, particularmente en las células del hígado y consiste en modificar drogas, sustancias tóxicas como barbitúricos, carcinógenos, metabolitos, etc., de ser insolubles en agua a solubles y de esta manera sean eliminados por la orina.

La cantidad de REL depende de la función que realice la célula, por ejemplo, en el hígado, en células especializadas en el metabolismo de los lípidos o en células de los ovarios y testículos, es más abundante.

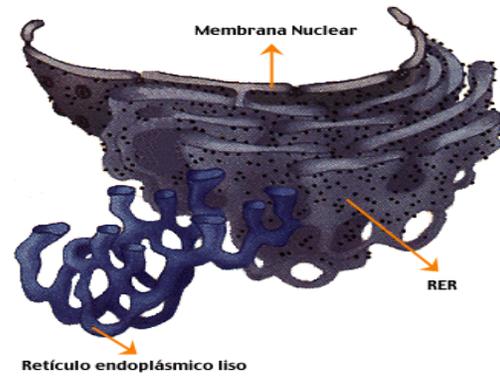


Fig. 1.36. Esquema del retículo endoplásmico liso. [http://www.uc.cl/ew\\_educ/biologia/bio100/html/portadaM1val2.4.3.html](http://www.uc.cl/ew_educ/biologia/bio100/html/portadaM1val2.4.3.html)

El retículo endoplásmico rugoso (RER) es continuación de la membrana externa de la envoltura nuclear y esta organizado en pilas de sacos aplanados, a los que del lado citoplasmático se le han adherido un gran número de ribosomas (Fig. 1.37.), lo que le da un aspecto granular. Se encuentra en todas las células eucariotas, exceptuando en los espermatozoides.

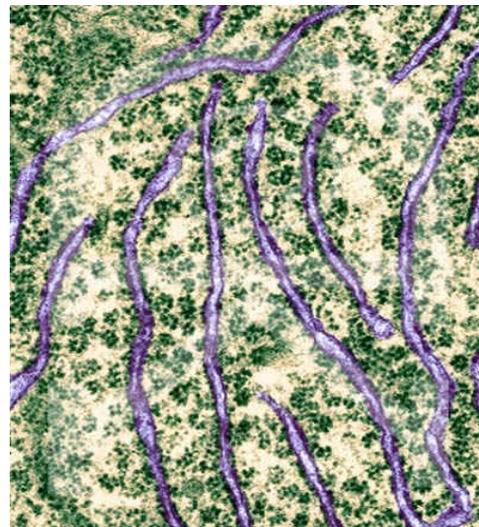


Fig.1.37. Micrografía del retículo endoplásmico rugoso. Se muestra en color verde los ribosomas y en morado las membranas del retículo. [http:// www.pbrc.hawaii.edu/~kunkel/gallery](http://www.pbrc.hawaii.edu/~kunkel/gallery)

La función del retículo endoplásmico rugoso es la síntesis de proteínas de secreción y de algunas enzimas que están presentes en el retículo que permiten que

se agreguen carbohidratos, convirtiéndolas en glucoproteínas, además de que interviene en la circulación intracelular. Es particularmente abundante en las células especializadas en la secreción de proteínas, como las del páncreas o en las que secretan anticuerpos, etc. o bien en las de intensa síntesis de membranas, como el óvulo inmaduro o los bastones de la retina, etc., por tanto, la cantidad de RER dependerá de la función que realice la célula.

### \* Ribosomas

Son pequeñas estructuras en las que aproximadamente el 65 % es ácido ribonucleico ribosomal (ARNr) y el resto son proteínas, no tienen una membrana que los limite, son esféricos o elípticos, e intervienen en la síntesis de proteínas y son muy abundantes en las células. (Fig. 1.38.)

Los ribosomas están presentes en todas las células, en las eucariotas se localizan ya sea, adheridos al retículo endoplásmico rugoso (RER), en las mitocondrias y los cloroplastos, o bien, están libres en el citoplasma sintetizando proteínas citoplasmáticas, es decir, que son para quedarse en el citoplasma y los que están adheridos al retículo endoplásmico sintetizan proteínas de secreción (que van a salir de la célula) o proteínas para las membranas.

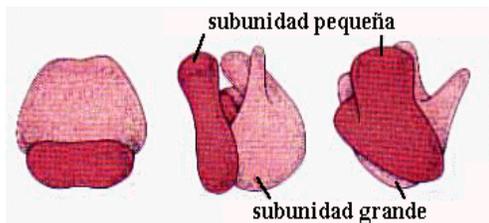


Fig. 1.38. Esquema que muestra a la subunidad mayor del ribosoma (con 3 moléculas de ARNr y 40 proteínas) y la menor (con 1 moléculas de ARNr y 33 proteínas). [http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema8/8-2sist\\_mem.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema8/8-2sist_mem.htm).

Los ribosomas de células eucariotas son un poco más grandes que los de células procariotas, están compuestos por dos subunidades, una más grande (ergosoma) y otra más pequeña (Fig. 1.38.). miden aproximadamente 30 nm de diámetro y pueden ensamblarse (durante la síntesis de proteínas) y desensamblarse.

### \* Aparato de Golgi

Fue descubierto por Camilo Golgi en 1898 y consiste en una serie de sacos aplanados o cisterna discoidales de aproximadamente 1 μm. de diámetro, limitados por membrana, acomodados unos sobre otros, como si fuera una pila de platos, llamados **dictiosomas**. (Fig. 1.39.). El número de sacos o dictiosomas que lo forman generalmente es de 6, aunque pueden llegar a ser más de 30, dependerá de la célula de que se trate.

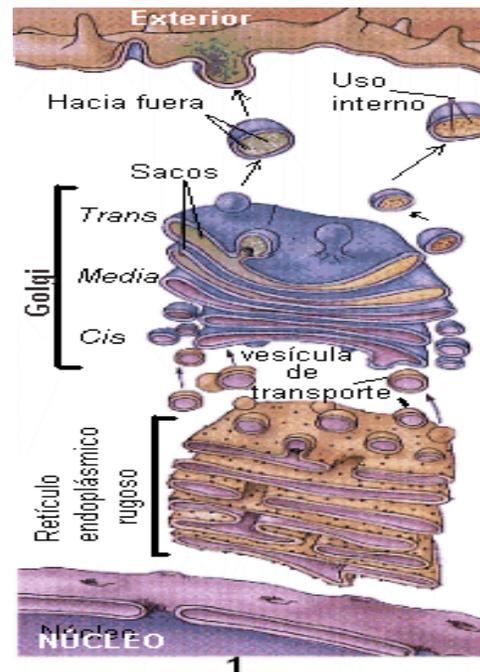


Fig. 1.39. Esquema del aparato de golgi. Se observa los sacos apilados situados entre el RER, la membrana celular y las vesículas. <http://whfreeman.com/life/update/chap04.html>

En el aparato de golgi se pueden distinguir tres regiones que son bioquímicamente diferentes: la **cis o de formación**, la **media**

y la **trans** o de **maduración** (Fig.1.39.). La cara **cis** es la que esta más próxima al retículo endoplásmico y recibe las vesículas de transporte que traen materiales (proteínas) que se sintetizaron en el retículo, las que penetran por ésta parte. (Fig. 1.40.)

Las funciones de aparato de golgi tiene que ver con la modificación sustancias que se sintetizaron en el retículo endoplásmico rugoso, como agregar carbohidratos o darle la estructura definitiva a la molécula, por ejemplo el ribosoma sintetiza la proteína proinsulina, es mandada al aparato de golgi en vesículas de transporte, entra por la cara **cis**, va pasando por los diferentes sacos encerradas en vesículas, y de ésta forma los materiales se van modificando paulatinamente, hasta llegar a la parte **trans**, (que esta cerca de la membrana celular); al llegar aquí ya esta transformada en insulina y sale por este mismo lado **trans** encerrada en vesículas, al exterior de la célula por exocitosis, debido a que se fusiona con la membrana plasmática. Según el tipo de molécula de que se trate, existe la posibilidad que se quede en el interior de la célula (Fig. 1.39.)

Otras funciones que realiza es intervenir en la síntesis de los carbohidratos, como por ejemplo, en las plantas es el que produce la celulosa (polisacárido) de la pared celular.



Fig. 1.40. Aparato de Golgi de una célula del parénquima de la planta *Sauromatum guttatum*. Se observa la gran cantidad de las vesículas cerca del aparato de Golgi. <http://www.pbrc.hawaii.edu/~kunkel/gallery>

Como se vio anteriormente también interviene en la secreción celular, circulación de macromoléculas en el interior de la célula, distribución, almacenamiento y empaquetamiento de compuestos, forma el acrosoma de los espermatozoides e interviene en la formación de los lisosomas primarios.

#### \* **Lisosomas**

Los lisosomas son vesículas delimitadas por membrana, cuya función es la digestión intracelular y los sintetiza el aparato de golgi. Contienen una gran variedad de enzimas digestivas o hidrolíticas, llamadas hidrolasas ácidas, porque actúan mejor en un pH 5 (ácido) es decir que desdoblan o rompen moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Existen los lisosomas en la mayoría de las células eucariota.

Existen los **lisosomas primarios** que se forman por la gemación de las cisternas **trans** del aparato de golgi y no han actuado sobre algún medio y los **lisosomas secundarios** que son el resultado de la unión repetida de lisosomas primarios con diferentes sustratos.

Los lisosomas degradan una gran variedad de sustratos, desde sustancias ingeridas o elaboradas por la célula, hasta bacterias y organelos celulares que han envejecido o partes de la misma célula. También participan en la apoptosis, que es la muerte celular programada, por ejemplo durante el desarrollo embrionario, los niños tienen unidos los dedos de las manos con una membrana interdigital, que es destruida por la acción de los lisosomas y el niño nace con los dedos separados.

El lisosoma actúa fusionando su membrana, con la vesícula que contiene el producto a degradar, poniéndose en

contacto las enzimas digestivas con el sustrato que se degradará y que será reducido a componentes más simples.

### \* **Mitocondria**

La mitocondria es un organelo celular característico de células eucariones, en ella se lleva a cabo la respiración celular aerobia, en la cual la energía química de los alimentos como azúcares es convertida en energía química ATP (adenosin trifosfato), por eso se le considera como la planta de energía de la célula. Puede variar en tamaño que va de 0.5 a 1.0µm de diámetro por 2 a 5µm de largo, siendo generalmente alargadas o elipsoidales y el número dependerá de la actividad que desarrolle la célula, por ejemplo una célula hepática tiene entre 1000 y 2000 mitocondrias.

Esta constituida por dos membranas muy especializadas y con características diferentes. La membrana externa es lisa y permeable debido a las proteínas (porinas), que forman poros no específicos y la membrana interna que contiene aproximadamente el 75 % de la proteína en peso; ésta membrana es impermeable a iones y permeable a CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, esta muy plegada formando las llamadas **crestas mitocondriales**, además contiene diferentes enzimas transportadoras y catalizadoras entre otras. El número de éstas depende de la actividad respiratoria que tenga la célula. (Fig. 1.41.)

Entre las dos membranas se encuentra el **espacio intermembranoso**, que tiene enzimas que utilizan ATP y finalmente esta la **matriz mitocondrial**, que esta en el interior de la membrana interna y tiene la textura de gel o semilíquida (Fig.1.41.), contiene agua, una mezcla de enzimas respiratorias solubles, iones inorgánicos,

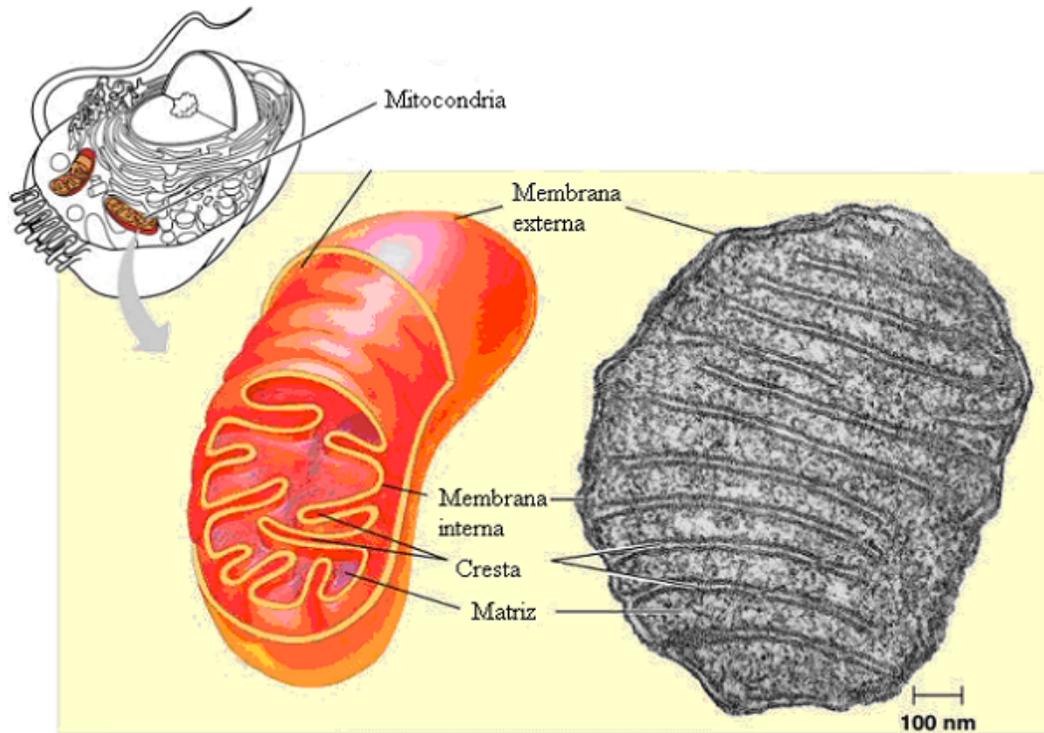
**Sabías que:** se creía hasta hace poco, que las mitocondrias humanas eran de origen materno, debido a que sólo el óvulo aportaba mitocondrias al embrión, pero ahora se sabe que durante la fecundación humana, además de fusionarse los núcleo del óvulo con el del espermatozoide, también se fusionan las mitocondrias paternas y maternas, pero la supervivencia de las mitocondrias paternas es muy rara.

### \* **Cloroplastos**

Las células fotosintéticas de las algas y plantas contienen cloroplastos, ya que realizan la **fotosíntesis**, que no es otra cosa que una serie de reacciones químicas, en la que se convierte la energía luminosa en energía química (glucosa). Para que se lleve a cabo estas reacciones es necesaria la presencia de los cloroplastos. (Fig. 1.43.)

Los cloroplastos (*Gr. chloros*, verde + *plastos*, formado), tienen forma oval o discoidal, miden de 4 a 6 µm de diámetro y de 1 a 5 µm de longitud. El número puede variar desde uno hasta cientos, dependiendo de la célula de que se trate. Los cloroplastos se encuentran en las células del mesófilo (tejido fotosintético del interior de una hoja). (Fig. 1.42.)

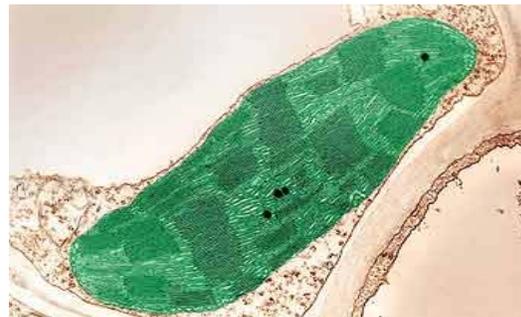
El cloroplasto esta rodeado de dos membranas. La **membrana externa** que es muy permeable y lisa, enseguida esta la **membrana interna** que es menos permeable y contiene una serie de proteínas de transporte y rodea un espacio central lleno de líquido, llamado **estroma** (Fig.1.42.) que contiene gran variedad de enzimas solubles, necesarias para la producción de carbohidratos, ribosomas, moléculas de ADN, ARNt. Entre las dos membranas se localiza el **espacio intermembranoso**, que es muy estrecho.



**Fig. 1.41. Esquema de una mitocondria. Se observa la membrana externa lisa, la membrana interna plegada formando las crestas mitocondriales, el espacio intermembranoso y la matriz mitocondrial, así como una micrografía de la mitocondria identificando sus estructuras.**  
<http://www.cientic.com/imagenes/mitocondria4.jpg>.

Existe un tercer tipo de membrana, que es la **tilacoidal** que se localiza en el estroma y esta formando un conjunto de sacos aplanados interconectados, semejantes a discos llamados **tilacoides** (Fig.1.42.). En el interior del tilacoide hay un espacio o lúmen, lleno de líquido llamado **espacio tilacoidal**. En algunas partes los tilacoides se apilan unos sobre otros formando los **granum** (plural **grana**). En ciertos puntos las membranas tilacoidales se unen a otros granum, formando como una red. (Fig. 1.42)

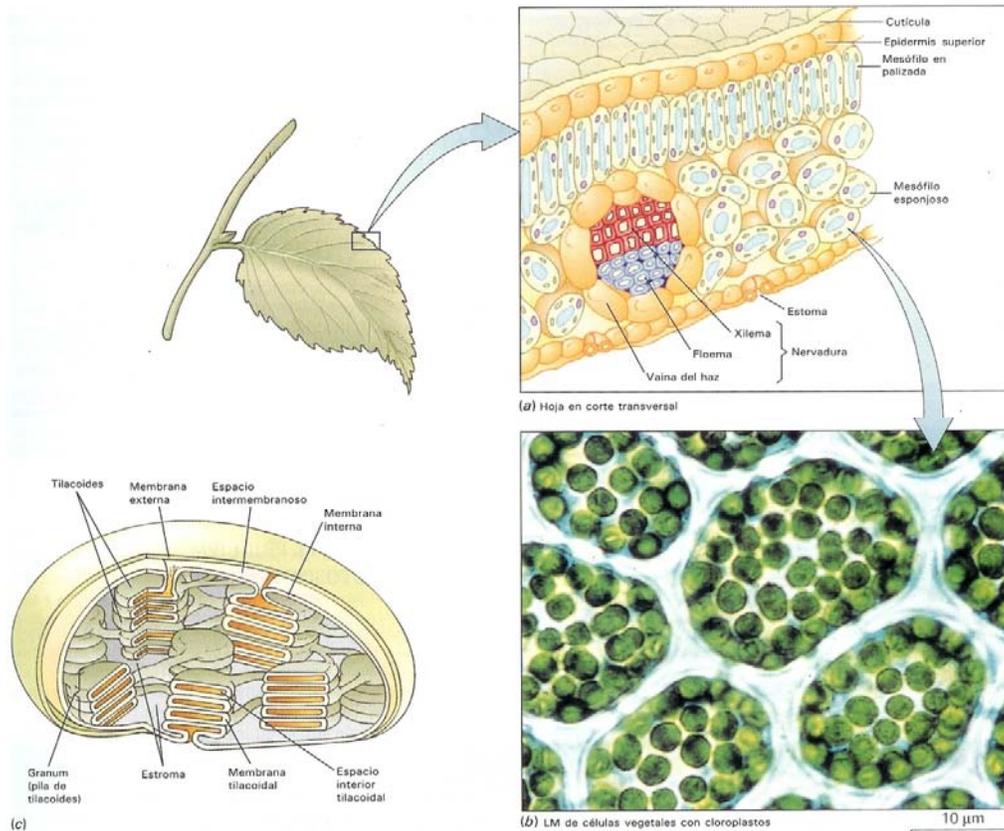
La membrana tilacoidal es la responsable de captar la energía luminosa del sol, gracias a la presencia de la clorofila (le da el color verde a las plantas) y otros pigmentos que están asociados a proteínas.



**Fig.1.43. Micrografía de un cloroplasto.**  
<http://ciencia.hoje.uol.com.br/images/chdia/n493a.jpg>

#### \* Pared Celular

La pared celular se encuentra presente en plantas, hongos, organismos procariotas y algas, es una estructura muy organizada, que se localiza fuera de la membrana celular, es semirrígida o rígida



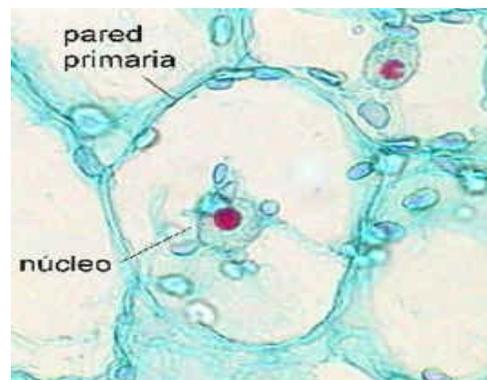
**Fig.1.42. Localización y estructura de los cloroplastos. a) una hoja, b) corte transversal de una hoja y se muestra el mesófilo c) las estructuras del cloroplasto como membrana interna, externa, espacio intermembranoso, etc. d) como se ven los cloroplastos en una célula vegetal. Solomon E. 2001.**

muy resistente que rodea a las células y su función es darles a las células protección, resistencia y rigidez.

La pared celular es sintetizada por el aparato de golgi de las mismas células y esta formada principalmente por un polisacárido de alto peso molecular llamado **celulosa** y otros polisacáridos que se unen a ella, formando capas que se van depositando en diferentes direcciones, dándole resistencia mecánica a la estructura.

La pared celular se va modificando a lo largo de la vida de la célula. Cuando la célula es joven o en etapa de crecimiento, la pared celular esta constituida por 2 o 3 capas de microfibrilla de celulosa, rodeadas por una matriz amorfa muy hidratada, principalmente de hemicelulosa, pectina (polisacáridos) y

pequeñas cantidades de proteína, esta combinación le hace ser elástica y delgada, así mismo le permite crecer y cambiar de forma a las células y a esta se le conoce como **pared primaria**. (Fig.1.45.)



**Fig. 1.44. Célula vegetal con pared celular primaria y granos de almidón. <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared1.htm>**

Una vez que la célula deja de crecer y madura, comienzan a secretar material sobre la superficie interna de la pared primaria, formando a la **pared secundaria**, que es rígida debido a que se van depositando nuevos materiales o nuevas capas de diferentes sustancias que harán que sea más densa, menos hidratada y flexible que la pared primaria, proporcionándole a la célula mayor sostén mecánico.

La **lámina media** esta entre las paredes celulares primarias de células adyacentes y están formadas por pectinas (polisacárido) que las mantiene juntas.

Las células no están aisladas, ya que están estrechamente comunicadas por los **plasmodesmos**, que son unos conductos cilíndricos revestidos de membrana que atraviesan la pared celular, siendo el número variable y de ésta manera se transportan los productos y el número es variable. (Fig.1.45.)

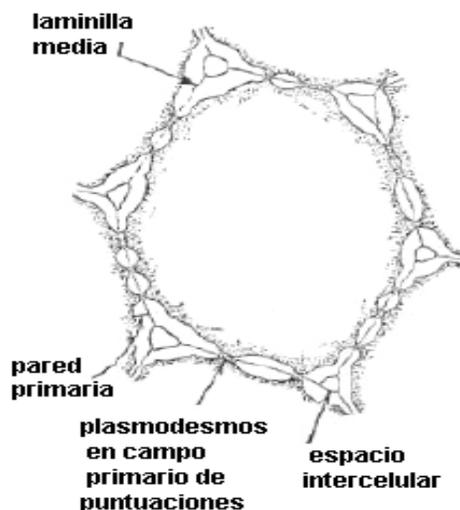


Fig. 1.45. Esquema de una célula vegetal donde se observan los plasmodesmos, la lámina media y la pared primaria. <http://www.biologia.edu.ar/.../tema7/7-4comunicac.htm>

#### \* Vacuola

Esta estructura es característica de células vegetales, esta rodeada por una membrana

llamada **tonoplasto**, que es selectivamente permeable, en células adultas generalmente solo hay una, que puede ocupar hasta 90 % del volumen de la célula. En células jóvenes hay muchas pequeñas, que se van uniendo hasta formar una grande y central. (Fig. 1.46.)

En el interior de la vacuola se encuentra el jugo vacuolar, que esta constituido por agua y una gran variedad de productos como azúcares, proteínas, sales, sustancias de desecho, venenos como alcaloides y variedad de pigmentos (antocianinas) azules, rojos, violetas, responsables del color de las frutas y verduras.

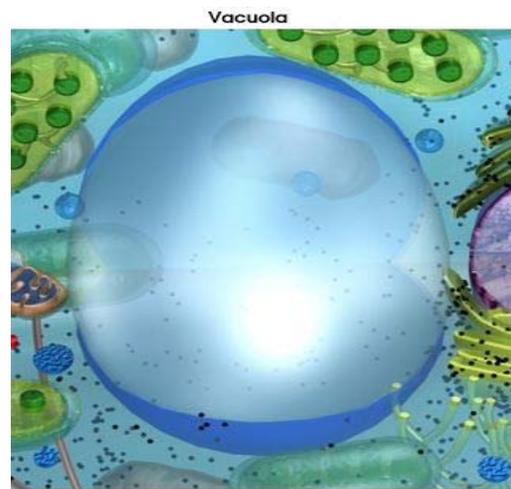


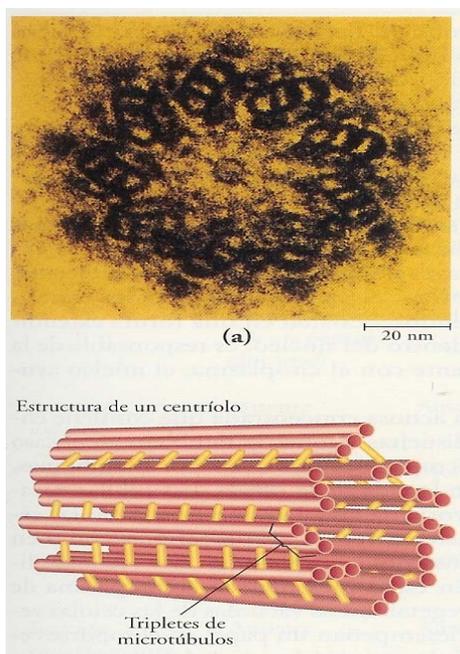
Fig. 1.46. Esquema de una vacuola en una célula adulta, en donde se observa que ocupa un porcentaje importante de la célula, <http://linux.ajusco.upn.mx/fotosíntesis/vacuola.html>.

Pueden tener diferentes funciones como almacenamiento de sustancias de reserva, de desecho o productos tóxicos, mantenimiento de la célula hidratada y la rigidez del tejido por el desarrollo de la presión de turgencia, crecimiento de la célula por presión de turgencia y mantenimiento de la misma en la célula, además de ser una estructura que interviene en la desintegración de macromoléculas y organelos, así como en

el reciclaje de sus componentes en la célula.

### \* Centriolos

Los centriolos son estructuras especializadas características de células animales y consisten en un par de pequeños cilindros huecos de aproximadamente  $0.1\ \mu\text{m}$  de diámetro, por  $0.3\ \mu\text{m}$  de largo, colocados perpendicularmente entre si y cerca del núcleo, dentro del centrosoma (estructura que funciona como organizador de microtúbulos), desde donde salen los microtúbulos del citoesqueleto y participa en la organización de los microtúbulos del huso mitótico que esta relacionado con el movimiento de los cromosomas.



**Fig. 1.47. a. Corte transversal de un centriolo de una célula de la mosca de la fruta. b. esquema de la disposición de los microtúbulos (9x3) en el centriolo. Curtis H. 2001.**

Cada centriolo esta constituido por nueve tripletes de microtúbulos (estructura  $9 \times 3$ ), siendo su estructura igual que la de los cuerpos basales de cilios y flagelos. (Fig. 1.47.)

Al parecer intervienen en algunos tipos de ensamblaje de microtúbulos y durante la división celular ya que se duplica y organiza la formación del huso acromático.

### \* Cilios y Flagelos

Son estructuras móviles que se encargan de la locomoción de las células o del movimiento de líquido que esté sobre la superficie de la célula.

Si miden de largo alrededor de  $1\text{mm}$  y están en un número reducido (1 o 2) son flagelos, si por el contrario son pequeños y numerosos, miden entre  $2$  y  $10\ \mu\text{m}$  de largo son cilios, en ambos casos miden más o menos  $0.25\ \mu\text{m}$  de diámetro. Tanto los cilios como los flagelos poseen la misma estructura, que consiste en un haz de 9 pares de microtúbulos unidos por proteínas, formando un círculo alrededor de dos microtúbulos no pareados centrales (estructura  $9 + 2$ ) (Fig. 1.48.), con radios de dineína (proteína) que las conectan entre si, dando estabilidad. Toda esta estructura esta recubierta por prolongaciones de la membrana celular.

Cada cilio o flagelo se prolonga dentro de una estructura que sirve de anclaje a la célula, llamada **cuerpo basal**, que esta constituida por nueve tripletes de microtúbulos, acomodados formando un anillo. (Fig.1.49.). El cuerpo basal es importante porque es el centro organizador de los microtúbulos y controla el movimiento de los cilios y flagelos. Esta estructura es característica de células eucariota. (Realizar actividad práctica “Observación de diferentes tipos celulares”).

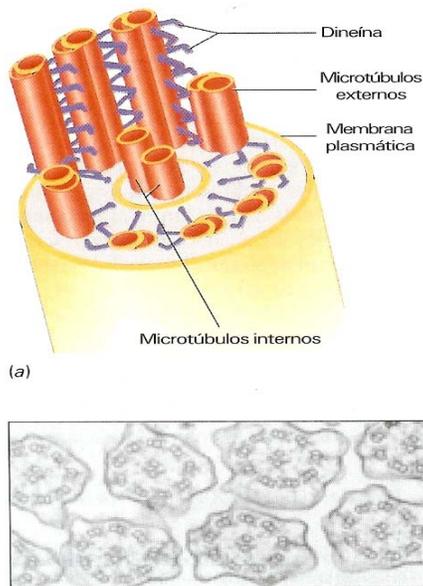


Fig. 1.48. a. Se muestra la estructura 9+2 de un cilio, con la proteína dineína uniendo los microtúbulos y cubriéndolo por prolongaciones de membrana celular. Abajo cortes transversales de cilios. Solomon E.

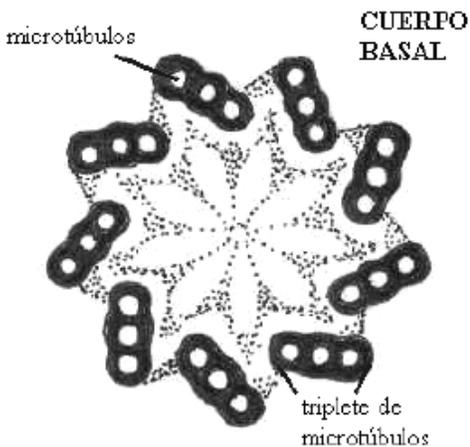


Fig. 1.49. Esquema del cuerpo basal de un flagelo, donde se observa el anillo formado por nueve tripletes de microtúbulos, sin microtúbulos en el centro. <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema8/8citoplas.htm>

## Células Procariotas

El término procariota viene del griego *pro*, antes y *karyon* núcleo o centro, es decir que carecen de núcleo, pero su molécula de ADN es grande, circular y esta desnudo (sin proteínas), localizándose en la **región nucleoide** (semejante al núcleo) (Fig. 1.50.). Estos organismos que carecen de organelos celulares que están rodeados de membranas como las mitocondrias, cloroplastos, retículo endoplásmico, etc., se les conoce como procariontes.

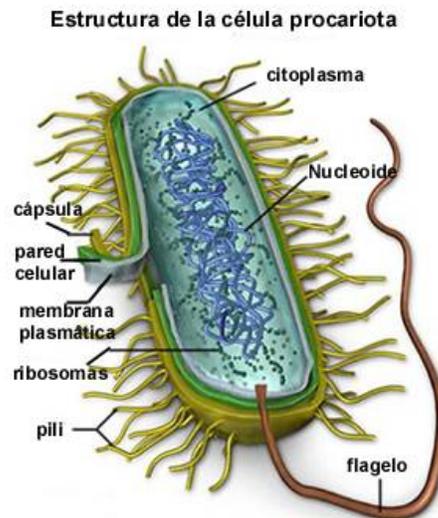


Fig. 1.50. Esquema de una célula procariota, y sus estructuras celulares características. <http://www.arrakis.es/~lluengo/tiposcelulares.html>

Las bacterias son las representantes de los procariotas y poseen una membrana celular que la rodea, además de una pared celular rígida que le da protección, formada por peptidoglicanos (mucopéptidos), algunas tienen **cápsula** que cubre a la pared celular y **pili** o **pelos** que le sirven para fijarse a las células que infecta.

En el citoplasma hay ribosomas que son más pequeños que los de los eucariotas, además de las enzimas que intervienen en la respiración y en la fotosíntesis están adheridos a la membrana celular. El

tamaño de las células es de entre 1 y 10  $\mu\text{m}$  de largo, además no poseen citoesqueleto y son generalmente unicelulares.

La mayoría son aerobias, algunas anaerobias facultativas o anaerobias obligadas. Se reproducen asexualmente por fisión binaria, gemación o fragmentación, la mayoría son heterótrofas y pueden formar colonias o vivir individualmente, por su forma pueden ser: esféricas (cocos), en forma de pequeños bastones (bacilos) o espiral (espiroquetas), etc. (Fig. 1.51.)

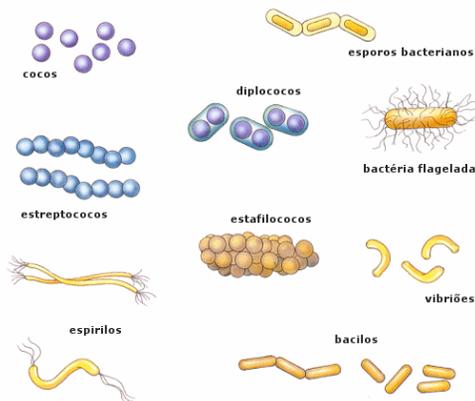


Fig. 1.51. Se muestran diferentes formas que pueden presentar las bacterias, [http://www.cientic.com/imagenes/img\\_monera5.gif](http://www.cientic.com/imagenes/img_monera5.gif)

## Células Eucariotas

El término eucariota viene del griego *eu*, verdadero y *karyon*, núcleo o centro, es decir que poseen núcleo, pertenecen a este grupo las células de los animales, plantas, hongos y protistas, el tamaño de la célula es mayor miden entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ . Estas células presentan altos niveles de organización y complejidad. (Tabla 1.1.). A los organismos formados por células eucariotas se les denomina **eucariontes**.

Tienen un complejo sistema interno de membranas, formando al retículo

endoplásmico, al aparato de golgi, al núcleo que esta rodeado por una doble membrana llamada envoltura nuclear, mitocondrias, cloroplastos (sólo en células fotosintéticas). (Fig. 1,52 y 1.53)

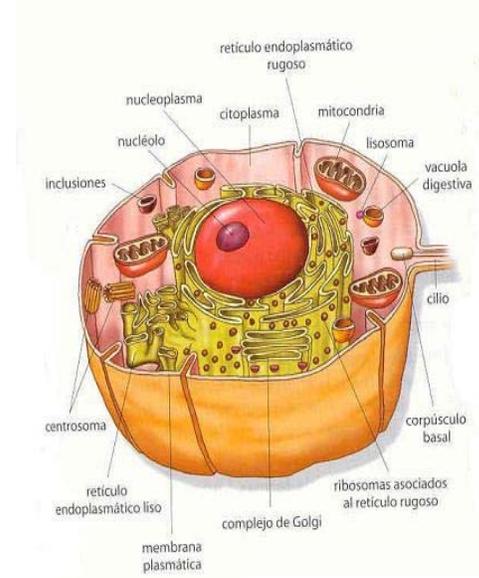


Fig. 1.52. Esquema de la estructura de una célula eucariota animal. <http://www.reypastor.org/.../i,agenes/celula2.jpg>

Las células eucariotas son aerobias, su ADN es muy largo y organizado en cromosomas, que generalmente son numerosos, además tienen regiones no codificantes (intrones), los ribosomas son más grandes y generalmente son pluricelulares con diferenciación celular.

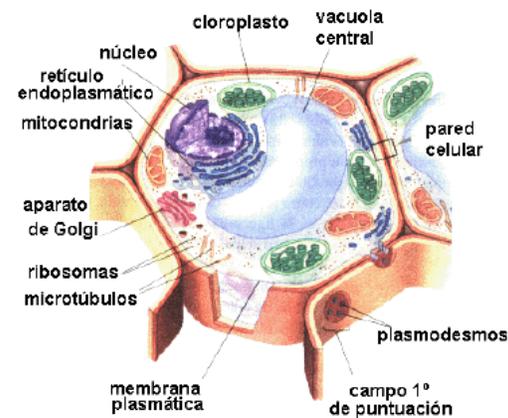
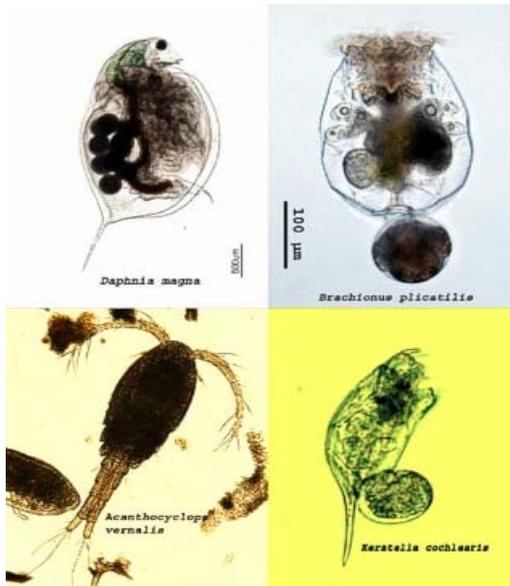
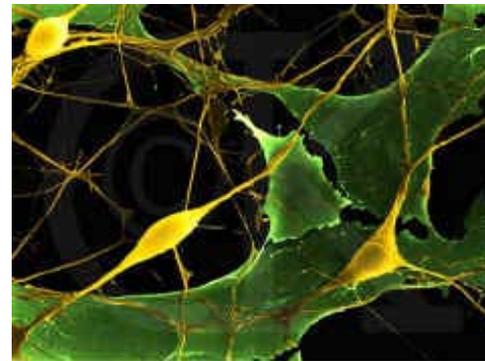


Fig.1.53. Célula vegetal (célula eucariota). <http://faiunne.edu.ar/biologia/imagen/celulas.gif>



**Fig.1.53. Diferentes protozoarios (células eucariotas).** <http://alerce.pntic.mec.es/~mnavar6/algasptotoz.htm>



**Fig.1.54. Micrografía de neuronas (células eucariote).** [http://fai.unne.edu.ar/Biologia/cel\\_euca/celula1.htm](http://fai.unne.edu.ar/Biologia/cel_euca/celula1.htm)

**Tabla 1.1. Diferencias entre células eucariotes y procariones.**

Resumen de los componentes típicos de las células procariontes y eucariontes						
Componente celular	Arqueobacterias, Función	PROCARIONTES	EUCARIONTES			
		Eubacteria	Protistas	Hongos	Plantas	Animales
Pared celular	Protección, apoyo estructural	✓*	✓*	✓	✓	Ninguna
Membrana plasmática	Control de las sustancias que entran y salen de la célula	✓	✓	✓	✓	✓
Núcleo	Separación física y organización del ADN	Ninguna	✓	✓	✓	✓
ADN	Codificación de la información hereditaria	✓	✓	✓	✓	✓
ARN	Transcripción, traducción de mensajes de ADN a cadenas polipeptídicas de proteínas específicas	✓	✓	✓	✓	✓
Nucléolo	Ensamblaje de subunidades ribosomales	Ninguna	✓	✓	✓	✓
Ribosoma	Síntesis proteica	✓	✓	✓	✓	✓
Reticulo endoplásmica (RE)	Modificación inicial de diversas cadenas polipeptídicas recién formadas de proteínas; síntesis de lípidos	Ninguna	✓	✓	✓	✓
Complejo de Golgi	Modificación final de proteínas y lípidos; clasificación y empaquetamiento de éstas para que sean usadas por la célula o se exporten	Ninguna	✓	✓	✓	✓
Lisosoma	Digestión intracelular	Ninguna	✓	✓*	✓*	✓
Mitocondria	Formación de ATP	**	✓	✓	✓	✓
Pigmentos fotosintéticos	Conversión de luz en energía	✓*	✓*	Ninguna	✓	Ninguna
Cloroplasto	Fotosíntesis, algo de almacenamiento de almidón	Ninguna	✓*	Ninguna	✓	Ninguna
Vacuola central	Aumento del área de superficie de la célula; almacenamiento	Ninguna	Ninguna	✓*	✓	Ninguna
Flagelo bacteriano	Locomoción a través del entorno líquido	✓*	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Flagelo o cilio con arreglo microtubular 9 + 2	Locomoción y desplazamiento a través del entorno líquido	Ninguna	✓*	✓*	✓*	✓
Citoesqueleto complejo	Forma de la célula, organización interna; base del movimiento celular y de muchas células, locomoción	Rudimentaria***	✓*	✓*	✓*	✓

\* Se sabe que están presentes en las células de por lo menos algunos grupos.  
 \*\* Muchos grupos emplean vías que requieren de oxígeno (aeróbicas) para la formación de ATP, pero la mitocondria no participa.  
 \*\*\* Los filamentos de proteína forman una estructura simple que ayuda a dar soporte a la pared de la célula por lo menos en algunas especies.

## Actividades de Aprendizaje

### Actividad Práctica

#### Identificación de Biomoléculas

##### Introducción

Partiendo de los principales elementos que constituyen a las células se pueden sintetizar proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos, y llevar a cabo todas las reacciones químicas necesarias para los procesos vitales, la formación de estructuras subcelulares y la transmisión y utilización de la información genética.

Los carbohidratos, lípidos y proteínas constituyen los tres tipos principales de alimentos, también, son los compuestos orgánicos esenciales del cuerpo humano y de las estructuras que forman a todos los seres vivos.

Los carbohidratos son los compuestos orgánicos más abundantes en la tierra, en el hombre constituyen sólo el 1 % del cuerpo, son ingeridos como parte de la alimentación, almacenados como glucógeno y utilizados como combustible celular primario y forman parte de la estructura de huesos y cartílagos.

Los lípidos forman un grupo de compuestos orgánicos de gran importancia biológica, son constituyentes esenciales de prácticamente todas las células vegetales y animales. En el cuerpo humano, se concentran principalmente en las membranas celulares, en el cerebro y tejido nervioso, aproximadamente el 15 % del cuerpo esta formado por lípidos.

Las proteínas sirven como material estructural a los organismos, catalizadores de las reacciones químicas que ocurren en las células, hormonas y componentes proteínicos de la sangre. Aproximadamente el 50 % del cuerpo humano esta constituido

por proteínas. Están constituidos por unas subunidades llamadas aminoácidos.

Los ácidos nucleicos tienen como función en las células transmitir la información genética y la síntesis de proteínas. Son polímeros de gran peso molecular, formados por unidades de nucleótidos que se repiten.

Para poder comprender como se lleva a cabo el proceso de la vida, es necesario estudiar lo más íntimo de éste o sea llegar a la comprensión de la estructura y función de las biomoléculas. En esta práctica se pretende que por medio de sencillas reacciones químicas que se realizan en el laboratorio a un grupo de alimentos, los estudiantes identifiquen los compuestos orgánicos que contienen cada uno de estos y así puedan apreciar su valor nutricional.

Se recomienda que los estudiantes lean la práctica antes de realizarla y prestar especial atención a las sugerencias.

##### Objetivo

Identificar la presencia de compuestos orgánicos (glucosa, almidón, lípidos y proteínas) en un grupo de alimentos de origen vegetal y animal.

##### Material y Método

- 5 tubos de ensaye
- 1 gradilla
- 1 probeta de 10 ml.
- 2 soportes con anillo y tela de alambre
- 2 mecheros
- 1 pinza para tubo de ensaye
- 1 vaso de precipitado 100 ml
- 2 vasos de precipitado de 250 ml
- 1 pipeta graduada de 5 ml
- 1 franela
- 1 microscopio óptico
- 2 cubreobjetos
- 2 portaobjetos
- 1 navaja nueva
- 1 coladera mediana

1 gotero  
1 agitador  
1 hoja de papel filtro  
Detergente y escobillón

### **Alimentos**

50 ml. de jugo de naranja  
50 ml. de salchicha o jamón licuado  
50 ml. de leche  
50 ml. de yogurt natural líquido  
1 papa mediana

### **Reactivos**

Feheling A y B  
Lugol  
Sudan III  
Biuret

### **Método**

#### **Identificación de glucosa**

- Se lava perfectamente bien todo el material de vidrio
- En un vaso de precipitado de 250 ml. se pone agua (150 ml) y la mitad de la papa partida en trozos sin cáscara para que hierva y se cueza a fuego mediano (aproximadamente de 15 a 20 minutos).
- Se muele en la licuadora 1 salchicha mediana o dos rebanadas de jamón con 100 ml. de agua, se cuele para obtener el líquido, y se refrigera. (lo realizarán los estudiantes en su casa)
- Se pone un vaso de precipitado de 250 ml. con 150 ml. de agua a calentar a fuego lento.
- Colocar en la gradilla los cinco tubos de ensaye previamente lavados, con la pipeta poner 0.5 ml. de reactivo de Fehling A y 0.5 ml de Fehling B en cada tubo.
- A los tubos que contienen los reactivos de Fehling se les agrega 2 ml. de cada alimento respectivamente (jugo de naranja, leche, yogurt, agua en la que hirvió la papa y jamón el líquido de la salchicha), con el agitador se revuelve para mezclar

bien los reactivos con el alimento, lavándolo antes de mezclar cada muestra, esto se hace para cada prueba (identificación de glucosa, almidón, lípidos y proteínas).

- Se colocan los tubos de ensaye en el vaso de precipitado que previamente se calentó y continúa haciéndolo, en baño María durante 3 minutos.
- Se retiran y se observa, si el color cambió a amarillo o rojo la reacción es positiva y ese alimento contiene glucosa.

#### **Identificación de almidón**

- Se colocan los cinco tubos de ensaye previamente lavados en la gradilla.
- A cada tubo se le colocan 2 ml. de cada alimento (jugo de naranja, leche, yogurt, agua en la que hirvió la papa, líquido de la salchicha o el jamón), agregar 2 gotas de reactivo de lugol.
- Se agita para mezclar bien el reactivo con el alimento y se observa si el color es morado la reacción es positiva y ese alimento contiene almidón.
- Con la papa que quedó cruda, se hace un corte lo más delgado posible (con la navaja), se coloca en el porta objetos, se le agrega 1 gota de lugol absorbiendo el exceso con el papel filtro, se pone el cubre objetos y se observa al microscopio.

#### **Identificación de lípidos**

- Se colocan los cinco tubos de ensaye previamente lavados en la gradilla.
- A cada tubo se le ponen 2 ml. de cada alimento (jugo de naranja, leche, yogurt, agua en la que hirvió la papa y el líquido de la salchicha o el jamón), más 2 ml. de agua y se agita fuertemente hasta emulsionarlos.
- Se agregan 3 gotas de reactivo de Sudan III, se mezcla con el agitador el reactivo con el alimento y se observa, si el color es rojo, la reacción es

positiva y ese alimento contiene lípidos.

### **Identificación de proteínas**

- Se colocan los cinco tubos de ensaye previamente lavados en la gradilla.
- A cada tubo se le ponen 2 ml. de cada alimento (jugo de naranja, leche, yogurt, agua en la que hirvió la papa y el líquido de la salchicha o el jamón), se agrega 1 ml. de reactivo de Biuret.
- Se mezcla con el agitador para revolver el reactivo con el alimento y se observa, si el color es azul o violeta la reacción es positiva y ese alimento contiene proteínas.

### **Resultados**

- Estos se vaciarán en un cuadro que elaborarán los estudiantes.

### **Conclusiones**

- Serán hechas por los estudiantes de acuerdo con los resultados obtenidos en la práctica.

### **Sugerencias**

- Hacer una investigación bibliográfica sobre el tema antes de llevar a cabo la práctica.
- El agitador, la pipeta y la probeta se deben lavar después de usarlos en cada alimento, de lo contrario los alimentos se pueden revolver y dar equivocadas las reacciones
- El vaso de precipitado con agua en el que se ponen los tubos en baño María debe vigilarse para que se mantenga caliente pero sin llegar a hervir.
- La coladera se usará para evitar tirar a la tarja, materiales sólidos, y éstos se depositarán en una bolsa de plástico, que posteriormente se pondrá en el bote de la basura.

### **Cuestionario**

#### **Resuelve las siguientes preguntas:**

- De los alimentos que analizaste ¿en cuales encontraste carbohidratos, lípidos y proteínas? ¿Cómo lo supiste?
- Menciona 5 alimentos que contengan carbohidratos, 5 que tengan lípidos y 5 con proteínas, y que consumas diariamente.
- Define en pocas palabras que es:
  - \* una proteína y algunas funciones que realizan en tu organismo
  - \* un carbohidrato y algunas de las funciones que realizan en tu organismo
  - \* un lípido y algunas de las funciones que realizan en tu organismo.
- Propón un menú adecuado a tu edad y actividad.

### **Bibliografía**

- Campbell, M. K., “Bioquímica”, Ed. Thomson Editores, 4ª ed., México, D.F., 2004. pp 62-104, 190-191, 432-457.
- Solomon, E. P, Berg, L. R, Martin, D. W., “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed., México, D.F., 2001, pp 50-66

## Actividad Práctica

### Observación de Diferentes Tipos de Células

#### Introducción

Todos los seres vivos están formados por células y dependiendo del organismo de que se trate serán las características de sus células. Hay dos tipos de células, las procarionta que son más pequeñas (entre 1 y 10 $\mu$ m), carecen de organelos rodeados por membrana, como núcleo, retículo endoplásmico, etc, su material genético consiste en un solo cromosoma circular, se reproducen asexualmente y son las bacterias las que tienen este tipo de célula. El otro tipo de células son las eucariota, cuyas características son poseer un complejo sistema de membranas internas, que dan lugar al núcleo, las mitocondrias, etc., son de tamaño más grande (entre 10 y 100  $\mu$ m), se reproducen sexual y asexualmente, tienen numerosos cromosomas, unicelulares y pluricelulares, etc. y se encuentran constituyendo a los animales, las plantas, los hongos, algas y protistas.

Existen una gran diversidad de formas y tamaños de células, que van de acuerdo al organismo, el medio en el que vive, etc.

Todas las células están rodeadas por la membrana plasmática, que la delimita y en su interior se encuentra el citoplasma en donde se localizan los organelos celulares. Algunos están presentes en todas las células (eucariotas) como el núcleo, nucleolo, retículo endoplásmico, mitocondrias, etc y por ejemplo los cloroplastos, la pared celular y la vacuola solo se encuentran en las células vegetales.

Para poder observar a las células es indispensable el uso del microscopio, lo que permitirá identificar algunas estructuras y las técnicas de tinción

también facilitan la observación porque colorea diferencialmente a las estructuras.

#### Objetivo

- Observar e identificar algunos organelos celulares en diferentes tipos de células.
- Diferenciar células procariontas de eucariotas.

#### Material y Método

1 Microscopio óptico  
6 Cubreobjetos  
6 Portaobjetos  
1 Aguja de disección  
1 Gotero o pipeta pasteur  
1 Caja de petri  
1 Mechero  
1 Asa de sembrar  
1 Navaja  
1 Coladera mediana  
1 Cebolla  
1 Planta de Elodea  
Agua de florero o de charco, fuente, etc.  
1 Yogurt natural sólido  
Pedazo de nopal  
Levadura de cerveza en polvo  
Detergente y escobillón  
Toallas

#### Reactivos

Azul de metileno  
Violeta de genciana

#### Método

- Tener el material completamente limpio y seco
- Poner una gota de agua de florero o de charco, en un portaobjetos, colocar el cubreobjetos y observar al microscopio a 10 y 40X, tomar fotografías y notas e identificar lo observado.
- Poner una hoja de Elodea en un portaobjetos, agregar una gota de agua, poner el cubreobjetos y

observar a 10 y 40X, tomar fotografías y anotar lo observado, e identificar.

- Coloca un fragmento de epidermis de cebolla en un portaobjetos, agrega una gota de azul de metileno, colocar el cubreobjetos y observa al microscopio a 10 y 40X, toma fotografías y anotar e identifica lo que observas.
- Coloca con el asa de sembrar una muestra de yogurt sobre el portaobjetos, extiéndela colocando perpendicularmente otro portaobjetos y córrela hasta el extremo, fíjala al fuego (pasando el portaobjetos varias veces por encima de la flama), agregar una gota de violeta de genciana y dejarla por un minuto, lavar al chorro de agua muy fino y secar al aire. Observar a 10 y 40X, tomar fotografías y anotar lo observado.
- Poner un pedacito de cutícula del nopal sobre el portaobjetos y agregar una gota de agua, colocar el cubreobjetos y observar a 10 y 40X, identificar y fotografiar lo que se observa.
- En la caja de petri disuelve un poco de levadura, en agua tibia (27°C), déjala reposar 10 minutos y haz una preparación, colocando una gota en el portaobjetos y poner el cubreobjetos, observar al microscopio a 10 y 40X, tomar fotografías y anotar lo observado.
- Si observas algo interesante, usa el objetivo de 100X y el aceite de inmersión.

### **Sugerencias**

- Hacer una revisión bibliográfica sobre el tema, antes de realizar la práctica
- Tener todo el material completo y limpio antes de iniciar la práctica.
- Prender el mechero exclusivamente cuando se va a usar y apagarlo enseguida.

- Apagar el microscopio si no se esta usando.

### **Cuestionario**

- ¿Qué diferencias hay entre las células que observaste?
- ¿Cuáles organelos pudiste observar en los diferentes preparaciones
- ¿Qué diferencias observaste entre las células procariotas y eucariotas?
- Hacer un cuadro, basado en las observaciones que hiciste con la elodea, la cutícula del nopal, el yogurt, la cebolla, el agua de florero y la levadura, indicando las estructuras observadas y la función que realizan.
- ¿A que conclusiones llegas a partir de todo lo que observaste?
- ¿Qué propones para mejorar la práctica?

### **Bibliografía**

- Alberts, B, Bray, D., et al., “Biología Molecular de la Célula”, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona España, 1996, pp 541-552.
- Karp, G., “Biología Celular y Molecular”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 1998, pp 7-15.
- Solomon, E. P, Berg, L. R, Martin, D. W., “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed., México, D.F., 2001, pp 73-101.

## Actividad práctica

### Elaboración de un modelo de ADN

#### Introducción

El ácido desoxirribonucleico o ADN es una molécula de alto peso molecular, formado por largas cadenas de nucleótidos y cada uno de ellos está constituido por: un fosfato que se une a una desoxirribosa (azúcar-pentosa), y ésta a su vez a una base nitrogenada que puede ser adenina o guanina (púricas) y timina o citosina (pirimídicas).

El ADN está formado por dos cadenas de nucleótidos, unidas por las bases nitrogenadas; en la que enfrente de una adenina siempre va una timina y la otra combinación es citosina-guanina.

En 1953 James Watson y Francis Crick describieron la estructura del ADN, que es de una hélice de doble cadena y esta es común al ADN de todos los seres vivos. En la secuencia de bases nitrogenadas está contenida la información genética de los organismos.

#### Objetivo

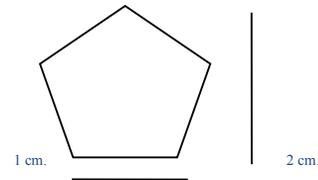
- Construir un fragmento de ADN para comprender su estructura.

#### Material

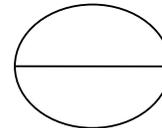
1 barra de plastilina roja o play doh  
1 barra de plastilina amarilla o play doh  
1 barra de plastilina verde o play doh  
1 barra de plastilina azul o play doh  
1 caja de palillos  
Círculos de papel de  $\frac{1}{2}$  cm. de diámetro (cortados con una perforadora)  
1 cutter  
1 regla  
1 pliego de cartulina blanca o papel bond  
Masking tape o diurex  
Plumones de colores  
Modelo del ADN y cámara fotográfica

#### Método

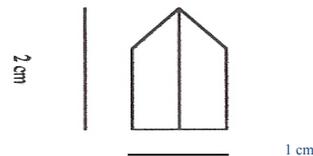
- Se fija la cartulina a la mesa con el masking tape.
- Con la plastilina roja se elaboran cincuenta figuras en forma de pentágonos de 1 cm. por lado y  $\frac{1}{2}$  cm. de grosor, las cuales representarán a la desoxirribosa (azúcar) y se les marcarán los carbonos 1, 3 y 5, con los círculos de papel cortados con la perforadora, ya que serán los sitios donde se llevarán a cabo los enlaces, tanto con el fosfato como con las bases nitrogenadas.



- Se harán 100 esferas de 2 cm. de diámetro, éstas representarán a los grupos fosfato.

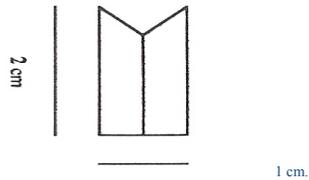


- La plastilina verde servirá para elaborar veinticinco figuras como las siguientes, de 2 cm. de largo por 1 de ancho y  $\frac{1}{2}$  de grosor, las cuales serán las bases púricas (adenina y guanina) y se marcarán con una A o con una G respectivamente.



- Con la plastilina azul se fabricarán veinticinco figuras de 2 cm. de largo por 1 cm. de ancho y  $\frac{1}{2}$  cm. de grosor, como se indica en la figura. Estas corresponden a las bases pirimídicas (timina y citosina). Para diferenciarlas

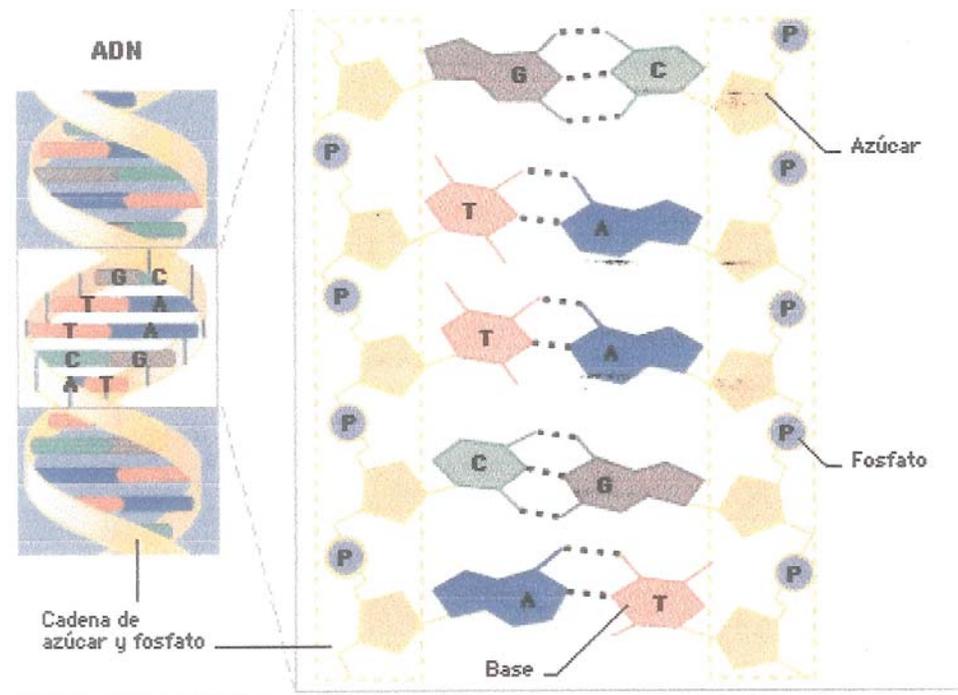
se les pondrá en el centro una T y una C.



- Para construir la molécula se usarán los palillos, que servirán para unir a

los fosfatos con la desoxirribosa y ésta con las bases nitrogenadas y formar así a los nucleótidos, de acuerdo a la secuencia seleccionada previamente.

- Se irán uniendo (con los palillos) los nucleótidos, hasta formar una molécula de 25 escalones.
- La molécula podrá hacerse tridimensional usando alambre.



**Fragmento de una molécula de ADN**

### Cuestionario

1. Explica que es un nucleótido, indicando los sitios de enlace.
2. Explica donde está contenida la información genética
3. ¿Qué tamaño tiene la cadena de ADN en la especie humana, por cuántos nucleótidos está formada?
4. ¿Qué es una mutación y da dos ejemplos?
5. ¿Qué relación hay entre ADN, cromosoma y gene?

### Bibliografía

- Alberts, B, Bray, D., et al., *“Biología Molecular de la Célula”*, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona España, 1996, pp 541-552.
- Campbell, M. K., *“Bioquímica”*, Ed. Thomson Editores, 4ª ed., México, D.F., 2004. pp 229-245.
- Stryer, L., *“Bioquímica”*, Ed. Reverté, 4ª ed., Barcelona España, 1995, pp 787-809.

## SOPA DE LETRAS

A	A	N	O	T	E	L	E	U	Q	S	E	O	T	I	C
M	A	F	E	B	M	X	Z	W	G	L	U	C	O	S	A
I	D	S	O	D	I	P	I	L	O	F	S	O	F	B	I
N	E	R	R	A	S	O	L	U	L	E	C	C	C	A	M
O	A	I	R	D	N	O	C	O	T	I	M	I	O	C	O
A	A	B	C	A	R	B	O	N	I	L	O	D	V	T	D
C	M	B	E	Z	A	I	O	U	M	L	R	I	A	E	I
I	O	S	P	E	D	I	O	C	A	L	I	T	L	R	T
D	S	A	E	Y	R	M	I	L	S	A	B	P	E	I	O
O	O	H	A	A	P	L	L	E	T	N	O	E	N	A	E
J	B	O	C	E	I	S	V	O	L	O	S	P	T	S	L
F	I	O	M	O	T	I	C	E	J	U	A	N	E	S	C
G	R	K	A	C	H	I	T	V	I	R	C	H	O	W	U
P	A	E	V	G	L	U	C	O	G	E	N	O	A	D	N

**Lee las preguntas cuidadosamente y busca las respuestas en el tablero.**

- 1.- ¿Qué tipo de células carecen de núcleo, mitocondrias y retículo endoplásmico?
- 2.- ¿Quién observó a la célula por primera vez en cortes de corcho (corteza del alcornoque)?
- 3.- ¿Qué organelo celular esta formado por una red interna de proteínas y le da a la célula forma y sostén?
- 4.- Da el nombre de la molécula de alto peso molecular que los animales usan para almacenar energía y esta formada por glucosa
- 5.- ¿Qué organelo celular contiene la información hereditaria y organiza a la célula?
- 6.- ¿El organelo que lleva a cabo la respiración celular y puede variar en el número es?

7.- ¿Qué estructura realiza directamente la síntesis de proteínas y pueden estar libres o adheridos?

- 8.- ¿Cuál es la subunidad que forma parte de los ácidos nucleicos?
- 9.- ¿El azúcar aldehídico de seis carbonos, que es el más común en los animales e indispensable es?
- 10.- ¿La molécula que contiene la información genética es?
- 11.- ¿Como se le llama al saco aplanado que forma parte de la estructura de la membrana interna del cloroplasto?
- 12.- ¿Cuál es el grupo funcional característico de los carbohidratos?
- 13.- ¿Cuál es el apellido del patólogo alemán que hizo el postulado sobre el origen de la célula a la teoría celular?
- 14.- ¿Cómo se llama el enlace que une a los aminoácidos?
- 15.- ¿Cuál es el principal componente de la bicapa de la membrana celular?

- 16.- ¿Cuál es el azúcar que forma parte de la molécula del ácido ribonucleico?
- 17.- ¿La estructura corta, delgada y numerosa, formada por microtúbulos de proteína, que sirve para la locomoción de las células es?
- 18.- ¿Como se llama la subunidad que forma a las proteínas?
- 19.- ¿Cuál es el polisacárido que es el principal componente de la pared celular?
- 20.- ¿Qué organismos son representantes de las células procariotas?
- 21.- ¿Cómo se llama el enlace característico que forma el carbono?

### Sugerencias de lecturas

Sosa A., “La química del pelo” ¿Cómo ves?, México, Año 3, Num. 36 pp 30-33

Moreira I., Massarani L. “El increíble Robert Hooke” ¿Cómo ves?, México, Año 6, Num. 62 pp.26-29

Bourges H., “Los hidratos de carbono en la nutrición humana”, Cuadernos de nutrición, Vol.23 Num. 6 pp 549-556

Bonfil M., “50 años de la doble hélice” ¿Cómo ves? México. Año 5, Num.53. pp. 10-16.

García A, Frenk J, “Triptofanito en la célula el viaje continúa”, Ed. Joaquín Mortiz. México, pp 113.

Frenk J. Triptofanito, un viaje por el cuerpo humano”. Ed. Joaquín Mortiz. México. pp 06

### Sugerencias de otras actividades

- Realizar modelos de la célula con diferentes materiales.
- Hacer mapas conceptuales
- Proyecciones de películas sobre diferentes aspectos de la célula

## Cuestionarios

### Cuestionario de preguntas abiertas

**Instrucciones:** Lee las siguientes preguntas y contéstalas correctamente.

- 1.- Explica los postulados de la Teoría Celular
- 2.- Explica las características e importancia del carbono.
- 3.- ¿Cuál es la clasificación de los carbohidratos y las características de cada uno?
- 4.- ¿Cual es la importancia de la glucosa y donde se produce?
- 5.- ¿Qué tipo de lípido es el colesterol y cual es su importancia?
- 6.- ¿Que quiere decir lípido saturado e insaturado, cual es su importancia en la alimentación y cuales se deben consumir?
- 7.- ¿Cual es la clasificación de los lípidos y da dos ejemplos de cada uno con importancia biológica?
- 8.- ¿Cuáles son los aminoácidos esenciales y cuál es su importancia?
- 9.- ¿Qué es la desnaturalización de las proteínas, que la causan y sus consecuencias?
- 10.- ¿Cuál es la fórmula general de los aminoácidos y que los hace diferentes?
- 11.- Da cinco funciones diferentes que realizan las proteínas en el hombre.
- 12.- ¿Por qué son importantes las proteínas y qué alimentos las proporcionan?
- 13.- ¿Qué son los nucleótidos y como están formados?
- 14.- ¿Cuántos tipos de ácidos nucleicos existen?
- 15.- Hacer un cuadro comparativo entre las características del ADN y del ARN
- 16.- ¿Cuál es la función y localización en la célula de los diferentes ácidos nucleicos?
- 17.- Explica la estructura del ADN
- 18.- Si una cadena de la molécula de ADN tiene la siguiente secuencia de bases: A,A,T,C,G,C,A,T,G,C,C,C,T,A,A

,G,T,T,A,C, ¿Cómo será la secuencia de bases de la cadena complementaria?

19.- ¿Cómo es la molécula de ATP?

20.- ¿Cuál es la función del ATP?

### Questionario de autoevaluación

**Instrucciones:** Lee cuidadosamente las preguntas y escoge la respuesta correcta.

1.- La membrana celular esta formada principalmente por: ( )

a) una bicapa de proteínas y carbohidratos

b) una bicapa de fosfolípidos y proteínas

c) una bicapa de fosfolípidos y ATP

d) una bicapa de lípidos y proteínas

2.- ¿Quién descubrió y le dio nombre a la célula?

a) Roberto Hooke ( )

b) Antonio de Leeuwenhoek

c) James Watson

d) Rudolf Virchow

3.- ¿Es el armazón interno de la célula, da soporte mecánico e interviene en el movimiento celular así como, en el transporte de materiales en la célula y esta constituido por proteínas es? ( )

a) citoplasma

b) membrana celular

c) retículo endoplásmico

d) citoesqueleto

4.- ¿Los ribosomas están constituidos por?

a) proteínas y ADN ( )

b) proteínas y ARNr

c) proteínas y ARNm

d) proteínas y ARNt

5.- ¿El organelo celular que se encarga de la destoxificación es? ( )

a) aparato de golgi

b) retículo endoplásmico rugoso

c) retículo endoplásmico liso

d) núcleo

6.- ¿Que organelo celular esta presente exclusivamente en las células animales e interviene en la división celular? ( )

a) centriolo

b) pared celular

c) lisosomas

d) glucógeno

7.- ¿Qué organelos presentan exclusivamente las células de muchos protistas, hongos y plantas? ( )

a) ribosoma

b) membrana plasmática

c) pared celular

d) núcleo

8.- ¿Qué tipo de células tienen un sistema de membranas interno, por lo que poseen núcleo, mitocondria, etc. son? ( )

a) todas las que existen

b) procariota

c) virus

d) eucariota

9.- ¿Qué estructura no esta limitada por membrana y se encarga de sintetizar al ARNr y el ensamble de los ribosomas?

a) núcleo ( )

b) retículo endoplásmico rugoso

c) aparato de golgi

d) nucleolo

10.-De las siguientes relaciones ¿cuál no es correcta? ( )

a) ribosoma –ARNr y proteína

b) membrana celular-fosfolípidos y proteínas

c) pared celular-colesterol

d) cloroplastos-clorofila

11.- ¿Qué estructura además de ser el centro de control de las funciones celulares, contiene la información genética? ( )

a) citoplasma

b) nucleolo

c) mitocondria

d) núcleo

12.- ¿En que estructuras podemos encontrar moléculas de ADN? ( )

- a) citoplasma y núcleo
- b) núcleo y ribosoma
- c) cloroplasto y vacuolas
- d) mitocondria y cloroplasto

13.- ¿Qué organelo celular se encarga de procesar, clasificar, modificar y distribuir a las proteínas sintetizadas por la célula?

- a) aparato de golgi ( )
- b) retículo endoplásmico liso
- c) núcleo
- d) ribosoma

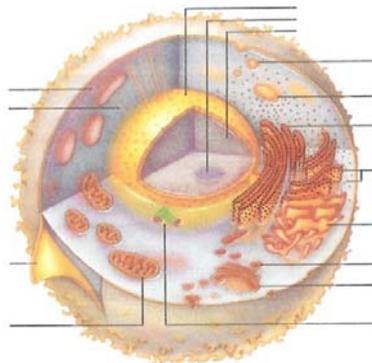
14.- ¿Qué estructura realiza la digestión intracelular, ya que contiene enzimas digestivas? ( )

- a) aparato de golgi
- b) lisosomas
- c) citoplasma
- d) citoesqueleto

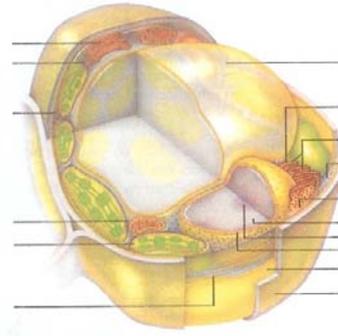
15.- ¿Qué organelo celular se encarga de la respiración aerobia y pueden ser muy numerosos, dependiendo de las necesidades de la célula? ( )

- a) cloroplasto
- b) lisosoma
- c) mitocondria
- d) centriolo

16.- Identifica los organelos celulares que se indican en las siguientes figuras, anotando la función que realizan.



¿Qué tipo de célula es y porque?



¿Qué tipo de célula es y porque?

17.- Hacer un cuadro con las diferencias entre las células animales y vegetales.

## GLOSARIO

- **Aerobio:** Organismo que crece o metaboliza sólo en presencia de oxígeno molecular.
- **Anaerobio Facultativo:** Organismo capaz de realizar la respiración anaerobia y de conmutar a la fermentación cuando no se dispone de oxígeno. Ejemplo las levaduras.
- **Anaerobio obligado:** Organismo que solo puede desarrollarse en ausencia de oxígeno.
- **Bacteria:** Organismo que consiste en una célula procariota, rodeada de una capa de polisacáridos complejos.
- **Electrón:** Partícula subatómica que existe fuera del núcleo y que porta una carga eléctrica negativa.
- **Enlace covalente:** Enlace químico entre dos átomos que comparten un par de electrones.
- **Enzima:** Catalizador orgánico (generalmente una proteína) que acelera una reacción química específica reduciendo la energía de activación necesaria para la reacción.
- **Exocitosis:** Transporte activo de sustancias hacia fuera de la célula por fusión de vesículas citoplasmáticas.
- **Fragmentación:** Método de reproducción asexual.
- **Fisión Binaria:** División de una célula u organismo en dos partes

aproximadamente iguales. Tipo de reproducción asexual.

- **Fitoesterol:** Esterol de origen vegetal.
- **Gemación:** Reproducción asexual en la que una pequeña parte del cuerpo del organismo progenitor se separa y se desarrolla para convertirse en un nuevo organismo como las levaduras.
- **Hemicelulosa:** Elemento que forma parte de la pared celular, es una cadena de glucosas más corta que la de la celulosa.
- **Hemólisis:** Descomposición de los glóbulos rojos.
- **Heterótrofos:** Organismos que no pueden sintetizar sus propios alimentos a partir de sustancias inorgánicas.
- **Hidrofílico:** Que pertenece a una sustancia que se disuelve fácilmente en agua, o a partes de una gran molécula que forman enlaces de hidrógeno con el agua.
- **Hidrofóbica:** Se dice de las sustancias que no se disuelven en agua.
- **Hidrólisis:** Reacción química con agua, en la que la molécula de agua se descompone en H y OH.<sup>-</sup>
- **Intrón:** Región no codificadora de proteína de un gen eucariota y también el preRNA transcrito a partir de dicha región.
- **Isómeros:** Compuestos con fórmulas moleculares idénticas pero diferente fórmula estructural.
- **Meristemático:** Tejido que se caracteriza por su activa división celular y es el encargado del crecimiento del vegetal.
- **Micrómetro:** Medida que equivale a 1 micrómetro= $\mu\text{m}$  (=1/1 000 000 m).
- **Monómero:** Molécula pequeña que es subunidad de un polímero.
- **Ovismo:** El embrión está dentro del óvulo y la misión del espermatozoide es estimular el desarrollo del embrión.
- **Pectina:** La pectina es el principal componente enlazante de la pared celular de los vegetales y frutas. Químicamente, es un polisacárido.
- **Permeable:** Que puede ser penetrado por un líquido, especialmente por el agua o radiación o campo magnético.
- **Poder de resolución:** Es la medida de la capacidad para distinguir un objeto

de otro. Es la distancia mínima que debe haber entre dos objetos para que sean percibidos como objetos separados.

- **Polímero:** Molécula gigante natural o sintética formada por moléculas más pequeñas o monómeros.
- **Preformismo:** Una versión diminuta del individuo estaba preformada en el huevo y el desarrollo del individuo consistía en el crecimiento de esas partes ya existentes hasta alcanzar el tamaño adulto.
- **Turgencia:** Que se hincha alguna parte.
- **Virus:** Patógeno diminuto consistente en una partícula central de ácido nucleico contenido en una cubierta proteínica y capaz de infectar células vivas.
- **Vitalista:** Para que se origine la vida debe haber un principio vital.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Alexander, P., Barhet M., Chaves, J., Courts, G.,** *Biología*. Ed. Prentice – Hall, 1992, pp 171-184.
- **Audesirk, T., Audesirk, G.,** *Biología, La vida en la tierra*. Ed. Prentice-Hall, Hispanoamericana, México, 4ª. ed. 1977, pp 945.
- **Bernstein R., Bernstein S.,** *Biología*, Ed. Mc Graw Hill, 10ª ed., México 1998, pp 688.
- **Biggs, A., Kapicka, C., Lundgren, L.** *Biología*, Ed. Mc-Graw Hill, México, 1999 pp 454-622.
- **Campbell, M., Farrel, S.,** *Bioquímica*. Ed. Thompson, 4ª. ed. México, 2004, pp. 700.
- **Campbell, N., Mitchell, L., Reece, J.,** *Biología: Conceptos y relaciones*. Ed. Pearson Educación, 3ª. Ed., México, 2001, pp770.
- **Curtis, H., Barnes, N.,** *Biología*. Editorial Médica Panamericana, 6ª. Ed. España, 2001, pp 110.
- **Hein, M., Arena, S.,** *Fundamentos de Química*. Ed. Thompson, 10ª. ed. México, 2001, pp.128.
- **Mader, S.,** *Biología*. Ed. McGraw-Hil Interamericana, 7ª ed. Colombia, 2003, pp 638.

- **Moreira I., Massarani L.,** *El increíble Robert Hooke. ¿Cómo Ves?*, México, Año 6, No. 62, pp. 26-29.
- **Ondarza, R.** *Biología Moderna* .Ed. Trillas, México, 10ª. ed. 1996. pp. 614.
- **Peña, A.,** *Que es el metabolismo*, Fondo de Cultura Económica, México, Ciencia para todos, No. 184, 2001 pp.121.
- **Smallwood, W; Green E.,** *Biología.* Ed. Publicaciones Culturales, México; 26ª ed. (1998) pp 239 – 311.
- **Solomon, E., Berg, L., Martin, D.,** *Biología.* Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª. Ed, México, 2001, pp.1230.
- **Starr, C., Taggart, R.,** *Biología.* Ed. Thompson, México, 2004 pp.930.
- **Ville, C.,** *Biología,* Ed. Mc Graw – Hill, México, 8ª. ed. 2001, pp. 730-620.
- <http://fai.unne.edu.ar/biologia/macromoleculas/adn.htm>
- <http://www.genome.gov/sglossary.cfm?ID1628.action=ver>
- <http://www.arrakis.es/~lluengo/pproteinas.html#Gloss>
- <http://www.bio.unip.edo.ar/historiamicroscopia.htm>
- <http://web.usal.es/~jr.alonso/web2001/Historiaweb.htm>
- <http://www.biologia.edu.ar/cel:euca/celula3.htm>
- [http://www.biologia.edu.ar/cel\\_euca/celula2.htm](http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/celula2.htm)
- <http://fai.unne.edu.ar/biologia/botanica/tema9/9.1nucleo.htm>
- [http://chimera.javeriana.edu.co/bo90/bo90\\_p08/bo90p08\\_ctp.htm](http://chimera.javeriana.edu.co/bo90/bo90_p08/bo90p08_ctp.htm)
- <http://www.pbrc.hawaii.edu/~kunkel/gallery>
- [http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema8/8-2sist\\_mem.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema8/8-2sist_mem.htm)
- <http://whfreeman.com/life/update/chap04.html>
- <http://www.cientific.com/imagenes/mitochondria4.jpg>
- <http://ciencia.hoje.uol.com.br/images/chd/ia/n493a.jpg>
- <http://biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared.htm>
- <http://www.biologia.edu.ar/.../tema7/7-4camunicac.htm>
- <http://linux.ajusco.upn.mx/fotosintesis/vacuola.html>
- <http://www.Biologia.edu.ar/botanica/tema8/8citoplas.htm>
- <http://www.arrakis.es/~lluengo/anucleico.html>.
- [http://www.biologia.edu.ar/cel\\_euca/la membranacelular.htm](http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/la membranacelular.htm)

## Hoja de respuestas

### Respuesta al cuestionario de autoevaluación

1.-b	4.-b	7.-c	10.- c	13.-a
2.-a	5.-c	8.-d	11.-d	14.-b
3.-d	6.-a	9.-d	12.-d	15.-c

### Respuestas de la Sopa de Letras

A			O	T	E	L	E	U	Q	S	E	O	T	I	C
M									G	L	U	C	O	S	A
I		S	O	D	I	P	I	L	O	F	S	O	F	B	
N			A	S	O	L	U	L	E	C	C	C	A		
O	A	I	R	D	N	O	C	O	T	I	M	I	O	C	O
A	A		C	A	R	B	O	N	I	L	O	D	V	T	D
C	M						O	U			R	I	A	E	I
I	O			E	D	I	O	C	A	L	I	T	L	R	T
D	S				R		I	L			B	P	E	I	O
O	O	H		A		L		E			O	E	N	A	E
	B	O	C		I			O			S	P	T	S	L
	I	O		O							A		E		C
	R	K						V	I	R	C	H	O	W	U
P		E		G	L	U	C	O	G	E	N	O	A	D	N

## Capítulo 2

### *Procesos de Regulación*

*El arte de la ciencia: Repasar el camino, y mirar lo que otros miraron y ver lo que otros no vieron.*

*Anónimo*

## ÍNDICE

	Pág.
• <b>Concepto e Importancia de la Homeostasis</b>	<b>50</b>
• <b>Objetivos del Capítulo</b>	<b>51</b>
-Conceptos Previos	51
• <b>Membranas Celulares</b>	<b>51</b>
-Antecedentes Históricos del Descubrimiento de la Membrana	51
-Estructura y Composición de la Membrana Plasmática	54
-Lípidos de la Membrana	55
-Proteínas de la Membrana	57
-Carbohidratos de la Membrana	59
• <b>Funciones de la Membrana Plasmática</b>	<b>61</b>
• <b>Transporte de Materiales a Través de la Membrana Plasmática</b>	<b>61</b>
-Transporte Pasivo	62
-Transporte Activo	64
• <b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>68</b>
• <b>Cuestionarios</b>	<b>75</b>
• <b>Glosario</b>	<b>77</b>
• <b>Bibliografía</b>	<b>78</b>
• <b>Hoja de Respuestas</b>	<b>79</b>

## Concepto e Importancia de la Homeostasis

El término de **homeostasis** deriva de los vocablos griegos “homoiós” que significa “lo mismo o semejante”, y “stasis” que quiere decir “permanencia”; por lo tanto, la homeostasis es el estado de equilibrio dinámico por el cual todos los seres vivos tienden a alcanzar una estabilidad en las propiedades de su medio interno, para mantener las condiciones adecuadas para la vida, como es el caso, por ejemplo, de la regulación de la temperatura, los niveles de glucosa en la sangre, etc.

El padre del concepto de homeostasis fue Claude Bernard, quien a mediados del siglo XIX mencionó que “las reacciones automáticas que ocurren dentro del organismo se realizan con el fin de mantener el medio interno en condiciones estables a pesar de los cambios del medio externo”. Esto lo observó en los registros de temperatura corporal, frecuencia cardíaca y presión arterial.

En 1928 el fisiólogo estadounidense Walter B. Cannon, utilizó por primera vez el término homeostasis, definiéndolo como: “la adquisición evolutiva de una sabiduría metabólica que genera constancia interna”.

En 1932 Walter B Cannon recibió el Premio Nobel en Fisiología, por definir las características que rigen a la homeostasis.

La suma de todas las actividades químicas de un organismo constituyen su metabolismo, estos procesos se realizan de manera continua en todos los seres vivos, y deben ser regulados meticulosamente para que se mantenga el equilibrio interno. La homeostasis opera en todos los niveles de la vida y los

procesos que la mantienen se denominan mecanismos homeostáticos, todos los aparatos y sistemas de un organismo participan en estos mecanismos reguladores, aunque los que ejercen un mayor control son el sistema nervioso y el endócrino.

**Por ejemplo**, en los seres humanos cuando hay un exceso o un déficit de glucosa en la sangre, la solución en el primer caso (hiperglucemia) es la secreción de **insulina**, y en el segundo (hipoglucemia) la secreción de **glucagon**, todo este proceso se realiza, a través del páncreas, hasta conseguir nivelar la glucosa a concentraciones que sean estables y adecuadas y que aportan equilibrio en el metabolismo. En el sistema nervioso también se hace notable la hipoglucemia, ya que ella provoca la sensación de hambre y el deseo de consumir alimentos que permitan nivelar nuevamente la concentración de glucosa en la sangre.

La acción que producen el glucagon y la insulina, corresponde al mecanismo de retroalimentación del cuerpo que ayuda a mantener la homeostasis. La enfermedad se puede definir como el resultado de las fallas en el sistema homeostático, ya sea de forma autónoma o por un agente externo que las causa.

Las dos propiedades que rigen a un sistema homeostático son la estabilidad y el equilibrio. La homeostasis responde a cambios efectuados tanto en el medio interno como en el externo del organismo.

Las células vivas mantienen el equilibrio gracias a que la membrana plasmática controla las sustancias que entran y salen de ella, manteniendo un balance interno (concentraciones adecuadas de sustancias en el interior y eliminación de los

desechos producidos), el cual es la característica más importante en cuanto al funcionamiento de los organismos.

## Objetivos del Capítulo

### El Lector:

- Relaciona los componentes de la membrana celular con algunos procesos de regulación.
- Comprende la importancia de los procesos de regulación, conservación y reproducción, como parte de lo que requiere un sistema para mantenerse vivo y perpetuarse.
- Aplica habilidades y actitudes al diseñar y llevar a cabo investigaciones documentales y experimentales que contribuyan a la comprensión de los procesos de regulación, conservación y reproducción.
- Comunica de forma oral y escrita la información derivada de las actividades realizadas.

**Conceptos previos:** carbohidratos, difusión, hidrosoluble, hormonas, lípidos, membrana, metabolismo, ósmosis, permeabilidad, proteínas, receptores, regulación, reconocimiento, transporte.

## Membranas Celulares

Las membranas celulares son estructuras laminares con un grosor de 6 a 10 nm, que no sólo rodean y delimitan a las células formando una barrera entre el medio exterior e interior, sino que también forman espacios internos cerrados dentro de ellas, como son, por ejemplo, entre otros el complejo de Golgi, los lisosomas y el retículo endoplásmico, en los cuales se facilita la realización de diversas reacciones químicas con mayor

velocidad que si se hicieran por todo el citoplasma de las células.

**Sabías que:** La unidad con que se miden las células es el micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), este equivale a una milésima de milímetro (1/1000), para las estructuras subcelulares se utiliza el nanómetro (nm), que equivale a una milésima de micrómetro.

A las membranas que delimitan o compartimentalizan a la célula se les llama **sistema endomembranoso**, aunque la membrana celular no es interna se incluye en él, debido a que participa en las actividades de éste.

En el sistema endomembranoso, se distingue a la membrana externa de la célula como la **membrana plasmática** y a las internas como **membranas citoplasmáticas**. Tanto en las células procariotas como en las eucariotas, se encuentra a la membrana plasmática formando una barrera de permeabilidad selectiva, que controla el flujo de información entre la célula y su medio exterior, contiene receptores específicos para los estímulos externos y produce señales que pueden ser químicas o eléctricas, por lo que juega un papel muy importante en las comunicaciones biológicas.

## Antecedentes Históricos del Descubrimiento de la Membrana

El actual modelo de estructura de la membrana plasmática, es el resultado de un largo camino que comienza en 1890 con el fisiólogo E. Overton, quien basándose en observaciones indirectas, determinó que las sustancias liposolubles atravesaban las membranas con mayor facilidad que las hidrosolubles, esto lo llevo a proponer que las membranas celulares estaban, principalmente, constituidas por lípidos.

En 1925 los científicos holandeses E. Gorter y F. Grendel, propusieron por primera vez que las membranas celulares podían contener una **bicapa de lípidos**, realizaron estudios químicos de membranas plasmáticas de glóbulos rojos (eritrocitos), haciendo la medición del área superficial de estas células y determinando la cantidad de lípidos por célula, demostrando que estos eran el constituyente principal.

Uno de los primeros modelos de la estructura de la membrana plasmática, fue el propuesto en 1935 por Hugh Davson y James Danielli, que al observar las características de permeabilidad de los glóbulos rojos y de otras células, supusieron que la membrana contenía una doble capa de moléculas de **fosfolípidos**, rodeada de proteínas globulares tanto interna como externamente. (Fig.2.1.)

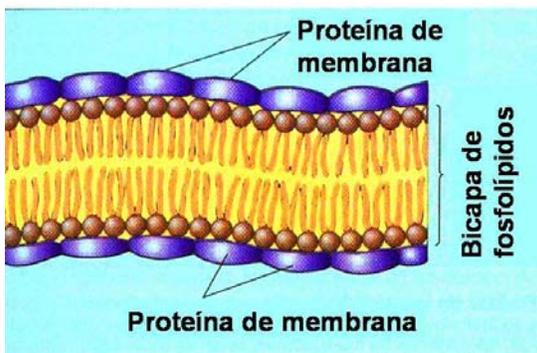


Fig. 2.1. Modelo de la estructura de la membrana plasmática, propuesto por Davson y Danielli. Tomado de Solomon 2001.

Además sugirieron que esta matriz lipídica debería estar orientada de tal forma, que los extremos hidrofóbicos internos de ambas capas quedarían juntos en el interior de la membrana y los extremos hidrofílicos externos se dirigirían hacia la superficie proteínica interna o externa. La membrana también

estaría atravesada por canales no lipídicos dispersos al azar en toda su estructura. Este fue el primer intento que se hizo para describir a la membrana en términos moleculares.

En la década de los cincuenta surge la hipótesis de la **membrana unitaria**, propuesta por J. David Robertson, quien sugiere que la membrana posee una estructura trilaminar, en la cual dos capas electrodensas envuelven una capa más ancha pero menos densa, supuso que las densas capas externas eran proteínas, mientras que la menos densa interna era una bicapa lipídica que estaría formada básicamente por fosfolípidos y algo de colesterol. (Fig. 2.2.)

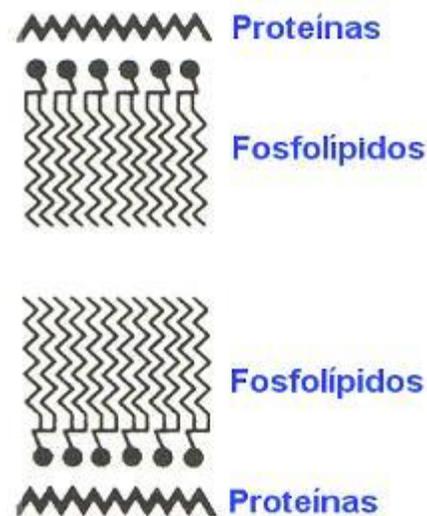


Fig. 2.2. Modelo de la membrana unitaria, propuesto por Robertson, basado en la interpretación de micrografías electrónicas de glóbulos rojos de vertebrados. Tomado de Solomon 2001.

Robertson describe una capa única de proteínas, extendidas sobre las superficies externa e interna de la capa doble de fosfolípidos, este modelo se ajusta a la medida de las tres láminas que se pueden ver en las micrografías electrónicas de todas las membranas celulares. Para

llegar a esta conclusión, se basó en la observación de micrografías electrónicas de glóbulos rojos de vertebrados, en el modelo de la membrana propuesto por Davson y Danielli y en criterios funcionales. (Fig. 2.3.)

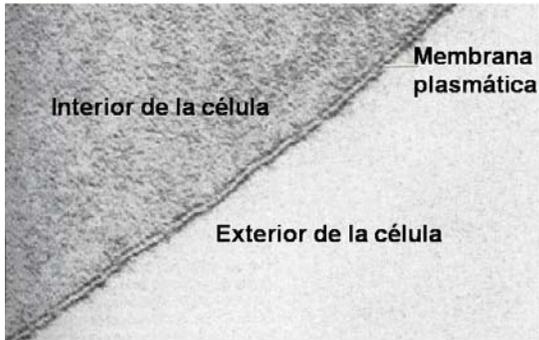


Fig. 2.3. Micrografía electrónica de la membrana plasmática de eritrocito de vertebrado mostrando las tres láminas. Tomado de Solomon 2001.

A pesar de que el modelo de la **membrana unitaria** había sido ampliamente aceptado, se cuestionaba como una estructura tan dinámica y con gran variedad de funciones como la membrana plasmática podía responder a un modelo tan estático y uniforme. Otro punto importante era explicar cómo las proteínas globulares podían extenderse sobre la doble capa de fosfolípidos y mantenerse activas, ya que un cambio en su estructura las inactiva.

Todo esto llevo a que en los años sesentas David Green y Ronald Capaldi, propusieran un modelo de membrana que consistía de un esqueleto aglutinante de proteínas que interactuaban entre sí, con zonas de capas dobles lipídicas dispersas entre las proteínas, lo que hacía que estas tuvieran cierta restricción de movilidad lateral, por lo que este modelo no cumplía

con las expectativas de funcionalidad de la membrana plasmática. (Fig.2.4.)

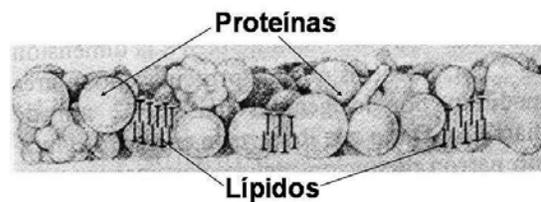


Fig. 2.4. Modelo de la membrana plasmática propuesto por Green y Capaldi, el cual consiste de un esqueleto de proteínas que interactúan entre sí, y capas dobles de lípidos dispersos entre ellas. Tomado de Avers 1983.

Fue hasta 1972 que S. Jonathan Singer y Garth L. Nicolson plantearon una nueva hipótesis sobre la estructura de la membrana, a la que llamaron el **modelo de mosaico fluido**, en él la doble capa de fosfolípidos se mantiene como el esqueleto en el cual, algunas proteínas se encuentran insertas dentro y otras están asociadas con la cara exterior e interior de la doble capa lipídica. (Fig. 2.5.)

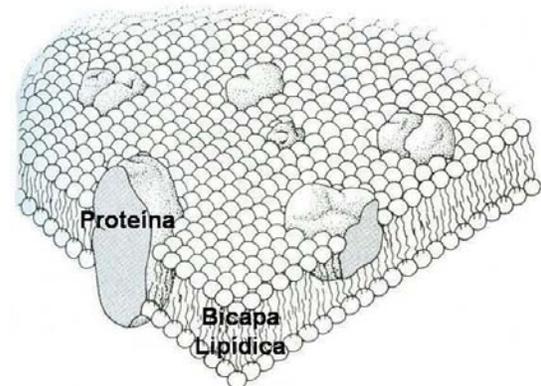


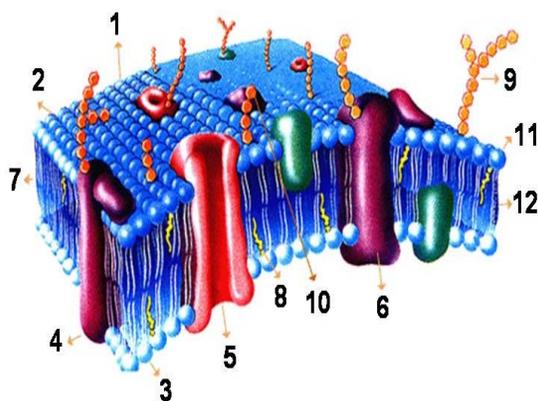
Fig. 2.5. Modelo de mosaico fluido propuesto en 1972 por Singer y Nicolson, en el cual la doble capa de fosfolípidos forma el esqueleto en el que se encuentran algunas proteínas insertas. Tomado de Karp 1998.

Las proteínas localizadas dentro, reciben el nombre de **intrínsecas** y pueden asomarse por la cara exterior o interior, o

en ambas cuando son muy grandes y atraviesan la membrana de lado a lado, estas son ricas en aminoácidos hidrofóbicos, lo que permite la interacción entre las proteínas y el medio que las rodea.

Las proteínas que están asociadas a la cara exterior e interior de la matriz lipídica se llaman **extrínsecas** y son muy variables de una célula a otra, incluso pueden estar ausentes, estas son ricas en aminoácidos hidrofílicos, lo que permite la interacción con el agua y los iones que esta tiene.

El modelo de mosaico fluido, no presentaba limitantes para la movilidad en forma lateral en la fase lipídica fluida, debido a que permite el movimiento en el plano de la membrana tanto de la propia bicapa como el de las moléculas incluidas en ella, presentándola como una estructura dinámica con capacidad de una gran variedad de funciones. Como puede verse, la disposición de las proteínas de la membrana en este modelo, es totalmente diferente a los propuestos anteriormente. (Fig. 2.6.)



**Fig. 2.6.** Representación actual de la membrana plasmática, que muestra la estructura básica propuesta por Singer y Nicolson, mostrando sus componentes. 1) bicapa de fosfolípidos, 2) lado externo de la

membrana, 3) lado interno de la membrana, 4) proteína intrínseca, 5) proteína formando un canal iónico en la membrana, 6) glicoproteína, 7) fosfolípidos, 8) molécula de colesterol, 9) cadenas de carbohidratos, 10) glucolípidos, 11) región hidrofílica de la membrana, 12) región hidrofóbica de la membrana. Tomado de [http://www.puc.cl/sw\\_educ/neurociencias/html](http://www.puc.cl/sw_educ/neurociencias/html)

### Estructura y Composición de la Membrana Plasmática

Las membranas plasmáticas están compuestas por **lípidos, proteínas y carbohidratos**, en una proporción aproximada de un 40, 50 y 10%, respectivamente, las cantidades en que estos componentes se encuentran pueden variar dependiendo del tipo de célula que se trate.

**Información indispensable.** El enlace químico en el que se comparten pares de electrones se llama **covalente**. Las moléculas **anfipáticas** son las que contienen regiones hidrofóbicas e hidrofílicas. Los términos **hidrofóbico** e **hidrofílico** vienen del griego y significan “que odia el agua”, y “amante del agua”, respectivamente.

Los componentes lipídicos que forman a la membrana, se mantienen unidos formando una delgada capa por medio de enlaces no covalentes, consiste de un esqueleto de fosfolípidos dispuestos en una doble capa, que sirve como almacén estructural y como barrera que impide movimientos desordenados de materiales hidrosolubles hacia adentro y fuera de la célula, ya que nunca se observa una célula viva con la membrana rota, sino como una estructura íntegra y continua. (Fig. 2.7.)

Las proteínas que forman la membrana pueden ser integrales (intrínsecas), que penetran la bicapa de lípidos, o periféricas (extrínsecas) unidas en la superficie de ambas caras. El otro componente son los carbohidratos que se encuentran unidos

mediante enlaces covalentes a los lípidos y proteínas que forman a la membrana

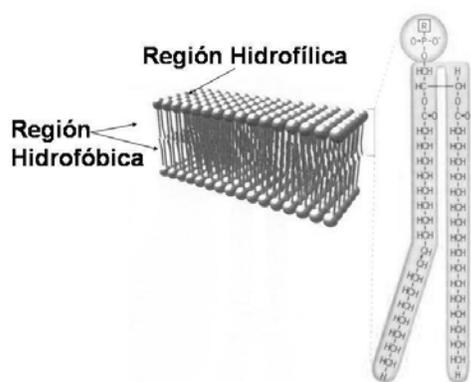


Fig. 2.7. Bicapa de fosfolípidos, con la región hidrofóbica hacia el interior, y la hidrofílica en las superficies interna y externa de la membrana plasmática. Tomado de Karp 1998.

- **Lípidos de la Membrana**

Los lípidos que forman a la membrana son, los **fosfolípidos**, **esfingolípidos**, **glucolípidos** y el **colesterol**, todos ellos son moléculas anfipáticas, ya que presentan una región hidrofílica que es afín al agua y una hidrofóbica que es repelente, esto determina las propiedades físicas de la membrana.

Los **fosfolípidos** son los principales componentes lipídicos de la membrana, poseen en su estructura un esqueleto de glicerol, dos cadenas de ácidos grasos no ramificados formando la cola, y un grupo fosfato, además pueden tener colina, etanolamina, serina o un inositol, estos grupos unidos al fosfato forman un medio muy hidrosoluble en un extremo de la molécula que es la cabeza. (Fig. 2.8.)

**Sabías que:** A los **fosfolípidos**, también se les da el nombre de fosfoglicéridos por tener glicerol; y por poseer dos cadenas de ácidos grasos, se dice que son diglicéridos.

Las dos largas cadenas de ácidos grasos que forman la cola de los fosfolípidos

pueden ser saturadas o insaturadas, dependiendo si presentan o no dobles enlaces en su cadena, por lo general los fosfolípidos de la membrana contienen una y una; esta región de la molécula es hidrofóbica. Cuando la cola del fosfolípido contiene ácidos grasos insaturados, la cadena se dobla en el sitio en donde se encuentra el doble enlace (Fig. 2.8).

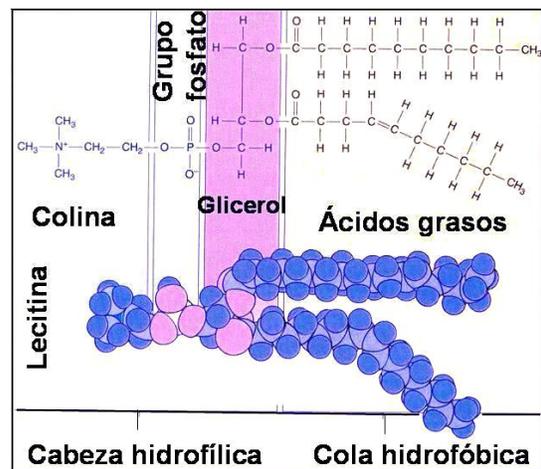


Fig. 2.8. Un fosfolípido, mostrando el esqueleto de glicerol, los ácidos grasos que forman la cola, un grupo fosfato y una colina, constituyendo el compuesto llamado lecitina. Tomado de Solomon 2001.

**Sabías que:** Entre más ácidos grasos insaturados tenga la bicapa lipídica de la membrana plasmática esta será más fluida.

Otro tipo de lípidos de la membrana son los **esfingolípidos**, los cuales derivan de la esfingosina (un alcohol aminado que contiene una larga cadena de hidrocarburos insaturados), la cual puede tener grupos adicionales como, la fosforilcolina que al unírsele forma la esfingomielina que se encuentra en las membranas de las células del sistema nervioso.

Los **glucolípidos** se forman cuando se une un carbohidrato a un alcohol de un

lípidos mediante un enlace glucosídico; si el grupo que se une es un azúcar simple como la glucosa o la galactosa se forma un **cerebrósido**, pero si es un grupo de más de tres azúcares, siendo uno de ellos el ácido siálico se llama **gangliósido**. Estos lípidos, se encuentran, principalmente, en las membranas de las células nerviosas y encefálicas. (Fig. 2.9.)

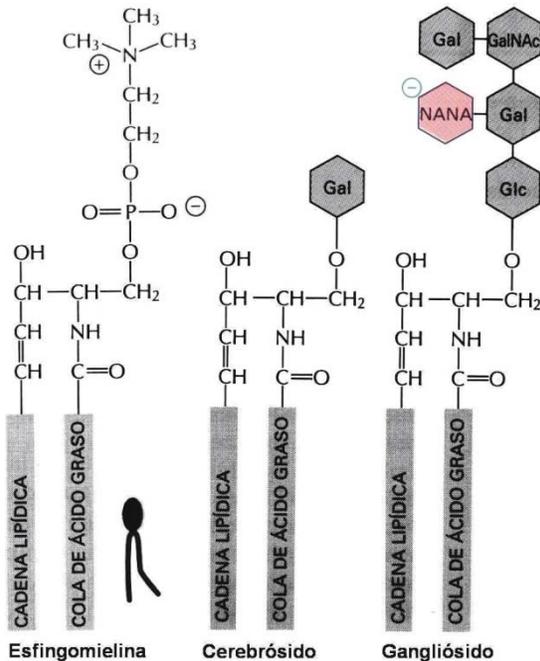


Fig. 2.9. Esfingolípidos y glucolípidos de la membrana plasmática, en los tres compuestos puede verse a la esfingosina, en el primero unida a una fosforilcolina dando una esfingomielina, en el segundo a una galactosa dando un cerebroside y en el tercero a un oligosacárido, dando un gangliósido. Tomado de Alberts 1996.

Los glucolípidos sólo se encuentran en la cara externa de la membrana plasmática, con los azúcares expuestos hacia el espacio extracelular.

**Sabías que:** Tanto los **esfingolípidos**, como los **glucolípidos** derivan de las ceramidas, que son lípidos que contienen un ácido graso enlazado con esfingosina por un enlace amídico.

El **colesterol** es un componente que se encuentra en las células animales, pudiendo llegar a constituir hasta el 50% de las moléculas lipídicas que forman la membrana, los vegetales y las células bacterianas no lo contienen. Las plantas en su lugar tienen un compuesto parecido llamado **fitoesterol**. El colesterol es un compuesto pequeño y menos anfipático que los lípidos antes mencionados. En él se encuentran el extremo hidrofílico hacia la superficie de la membrana y el hidrofóbico integrado a la bicapa de fosfolípidos. El colesterol proporciona cierta rigidez haciendo que la membrana sea menos fluida, pero mecánicamente más estable. (Fig. 2.10.)

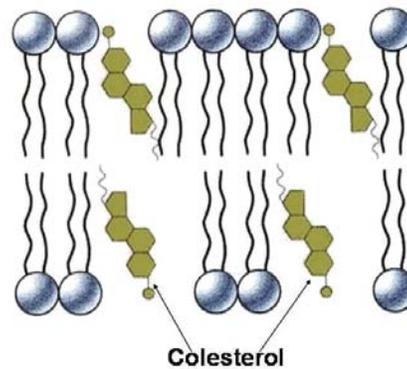


Fig. 2.10. Moléculas de colesterol en la membrana plasmática, impiden que los fosfolípidos se compacten. Tomado de Karp 1998.

Como se puede ver la mayoría de los lípidos que forman a las membranas plasmáticas, contienen un grupo fosfato excepto el colesterol y los glucolípidos.

El estado de fluidez de la membrana plasmática, depende de los lípidos que la componen, debido a su característica anfipática y a la forma que adoptan; pero también es importante la temperatura, ya que cuando esta es óptima los lípidos se encuentran en un estado de fluidez

perfecta, pero si ella varía pueden tornarse muy delgados o demasiado rígidos. Algunos organismos regulan la fluidez de la membrana variando el número de dobles enlaces y la longitud de las cadenas de sus ácidos grasos.

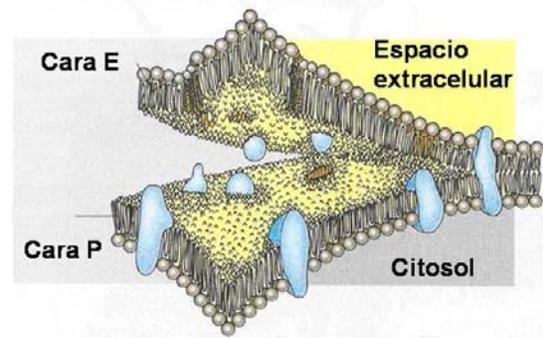
La movilidad de los lípidos en la bicapa, se ha demostrado mediante estudios con marcadores fluorescentes, los cuales han revelado que el movimiento en forma lateral se realiza con facilidad y rapidez, en cambio el de un lado al otro de la membrana en forma transversal es mucho más lento.

- **Proteínas de la Membrana**

Otro componente importante de las membranas plasmáticas son las **proteínas**, responsables de la mayoría de los procesos que estas realizan, la cantidad y el tipo de proteínas que pueden tener se relaciona con las funciones que llevan a cabo, una membrana puede tener entre el 18 y 50% de contenido proteico y desde una docena hasta más de 50 diferentes proteínas.

Las proteínas de la membrana se sitúan asimétricamente (Fig. 2.11.), como resultado del modo en que se insertan en la bicapa lipídica, por lo que las superficies externas e internas de las membranas tienen diferentes componentes y actividades, debido a esto se clasifican dependiendo del lugar en donde se encuentran en la doble capa lipídica, formando dos grupos que son: **proteínas integrales** y **proteínas periféricas**

Las **proteínas integrales** también llamadas **intrínsecas**, son anfipáticas y se localizan incluidas en la bicapa de fosfolípidos de tres formas diferentes, monotópica, bitópica y politópica.



**Fig. 2.11. Asimetría de la membrana plasmática, esta se debe a la forma en como las proteínas se insertan en la bicapa lipídica. Tomado de Solomon 2001.**

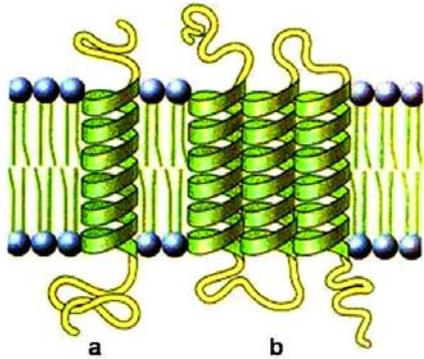
**Monotópicas.** Son proteínas que atraviesan la bicapa lipídica, asomándose hacia afuera en la cara intracelular o en la extracelular de la membrana, estas son muy raras y escasas.

**Bitópicas.** Son proteínas integrales que atraviesan de lado a lado a la bicapa una sola vez, asomándose en la cara intra y extracelular simultáneamente (también se les llama proteínas transmembranosas), en este grupo podemos encontrar a los receptores externos de la membrana plasmática. La mayoría de las proteínas integrales se encuentran en este grupo. (Fig.2.12.)

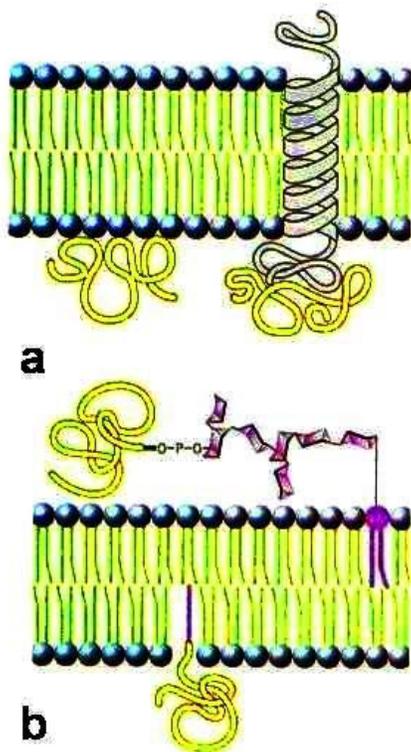
**Politópicas.** En ellas varios segmentos de la proteína atraviesan las capas de lípidos entrelazándose, aquí se encuentran las que forman canales para el paso de diferentes sustancias a través de la membrana. (Fig.2.12.)

Las **proteínas periféricas** también llamadas **extrínsecas**, se pueden encontrar en la superficie de la cara interna o externa de las membranas, unidas a las porciones hidrofílicas salientes de las proteínas integrales, o a la región lipídica de la membrana externa,

específicamente a un glucolípido, otras se pueden unir a la cabeza hidrofílica de la capa de fosfolípidos interna de la membrana o a un ácido graso. (Fig. 2.13.)



**Fig. 2.12. Proteínas integrales de la membrana plasmática.** a) Bitópicas, atraviesan una sola vez la membrana. b) Politópicas, atraviesan varias veces la membrana. Tomado de Karp 1998.

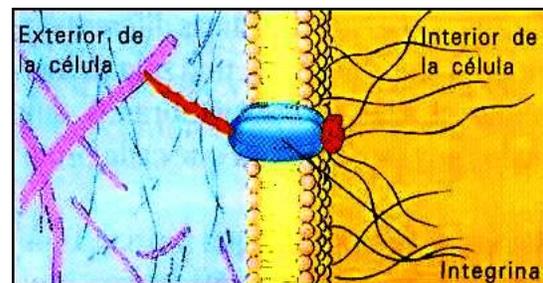


**Fig. 2.13. Proteínas periféricas de la membrana**  
a) Proteína de la superficie interna anclada a las cabezas lipídicas o a las partes salientes de alguna proteína integral. b) Proteínas unidas a fosfolípidos o a ácidos grasos de la bicapa lipídica. Tomado de Karp 1998.

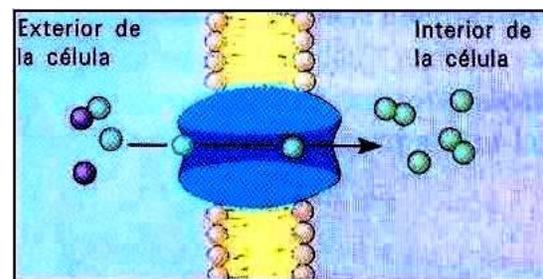
El ensamblaje de las proteínas que se encuentran en la superficie interna de la membrana plasmática, se realiza en los ribosomas libres que se desplazan hacia la bicapa a través del citoplasma; las que se encuentran en la superficie externa de la membrana son producidas por ribosomas del retículo endoplásmico, en donde se les agregan azúcares para formar las glucoproteínas, que son transportadas por medio de vesículas hasta la membrana para incorporarse a ella.

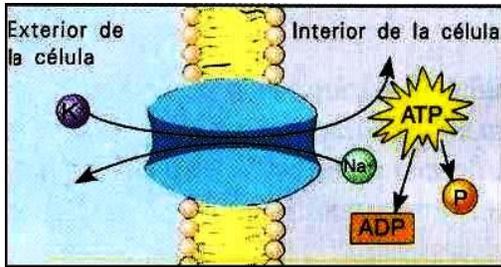
Las proteínas de la membrana presentan una movilidad de desplazamiento en forma lateral a través de la bicapa lipídica, cuando esta se encuentra en el estado de fluidez óptimo. Las funciones que las proteínas de la membrana realizan son las siguientes:

a) Fijan los filamentos del citoesqueleto a la membrana plasmática, y fija las células a la matriz extracelular.

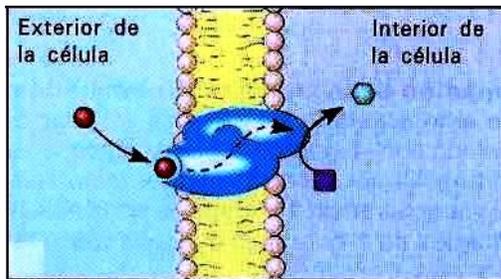


b) Forman canales que facilitan el paso de iones y moléculas específicas a través de la membrana.

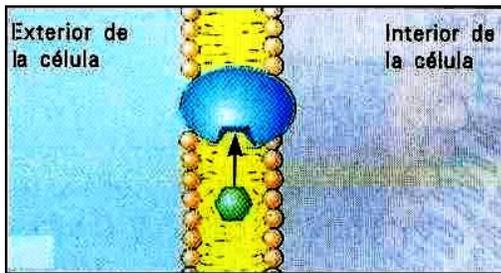




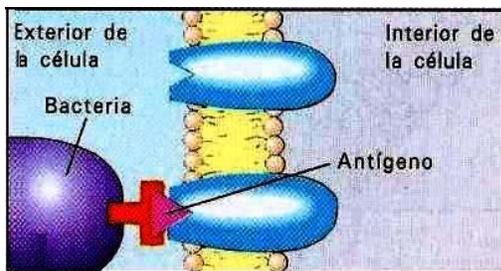
c) Actúan como receptores en los procesos de comunicación entre células.



d) Poseen actividad enzimática específica.



e) Reconocen por medio de receptores, a antígenos y células extrañas.



### • Carbohidratos de la Membrana

Los **carbohidratos** que forman parte de la membrana se encuentran unidos a lípidos o proteínas por medio de enlaces covalentes, formando los **glucolípidos** y

las **glucoproteínas** respectivamente, los cuales se localizan en la cara externa de la membrana plasmática.

Los carbohidratos que participan en la formación de las glucoproteínas son oligosacáridos de cadena corta ramificada con una gran variabilidad estructural, que pueden ser, entre otros, la glucosa, galactosa, manosa, fructosa; estos azúcares son altamente hidrofílicos por lo que tenderán a colocarse en la superficie externa de la membrana plasmática y la ayudarán a mantener la característica asimétrica.

En la mayoría de las membranas plasmáticas de las células eucariotas se puede encontrar a las glucoproteínas, mientras que a los glucolípidos principalmente en la superficie de la membrana de las células animales. Los carbohidratos constituyen aproximadamente entre el 2 y 10 % del peso total de las membranas, y la mayor parte de estos se unen a proteínas para formar las glucoproteínas.

Los carbohidratos de la membrana plasmática, que forman a los glucolípidos, participan en las interacciones entre las células y con el medio externo, siendo muy importantes en el reconocimiento celular. (Fig. 2.14.)

Como ejemplo, se menciona al sistema de grupos sanguíneos ABO en el ser humano, en donde los carbohidratos de los glucolípidos determinan el tipo de sangre de una persona, también participan en ciertas enfermedades infecciosas, como el cólera y la influenza, ya que permiten la entrada a la célula de la toxina y el virus, respectivamente.

La mayoría de las proteínas integrales y los lípidos de la membrana, así como las

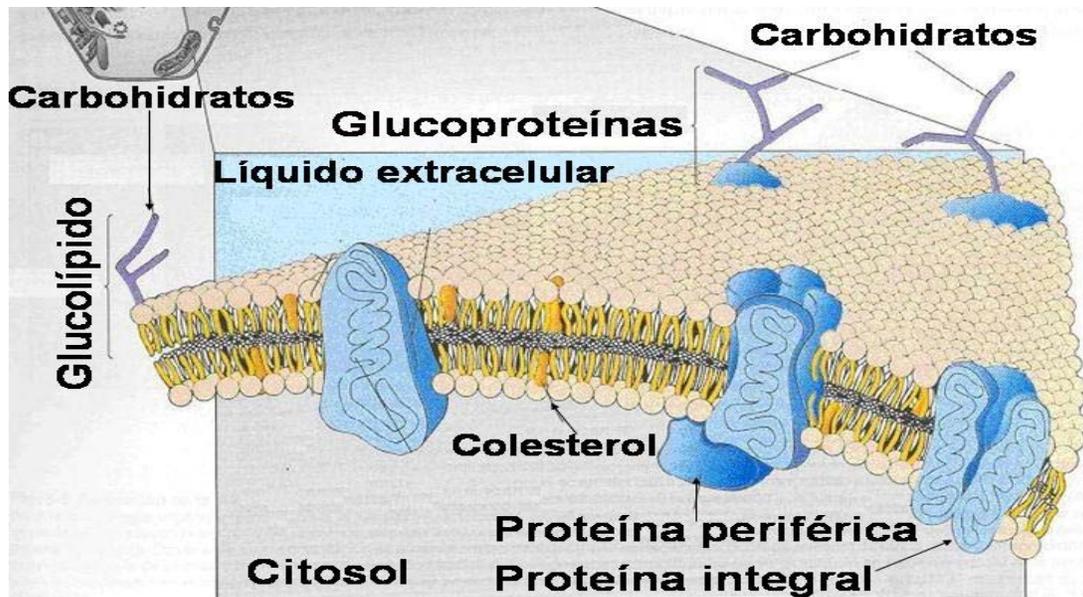


Fig. 2.14. Esquema que muestra a las glucoproteínas y a los glucolípidos de la membrana plasmática. Tomado de Solomon 2001.

glucoproteínas y proteoglicanos secretados y reabsorbidos en la superficie celular, tienen cadenas cortas de azúcares, formando las glucoproteínas y los glucolípidos, orientados hacia afuera de la célula, estos carbohidratos forman parte de una capa que se encuentra en la parte exterior de la membrana plasmática de las células eucariotas, llamado **glucocáliz** (Fig. 2.15.), el cual interviene en las interacciones célula-célula y célula-sustrato, sus funciones son:

- Proteger la superficie celular contra la interacción de proteínas extrañas o lesiones físicas o químicas
- Reconocimiento celular, juega un papel muy importante en los procesos de rechazos de injertos y transplantes
- Participa en los procesos de coagulación de la sangre y en las reacciones inflamatorias

- En la fecundación, los espermatozoides distinguen los óvulos de la propia especie de los de especies diferentes, por medio del glucocáliz

**Sabías que:** Los **proteoglicanos** son largas cadenas de polisacáridos unidas covalentemente a un núcleo proteico, principalmente se encuentran en células como parte de la matriz extracelular, o integrados a la membrana unidos a una proteína integral.

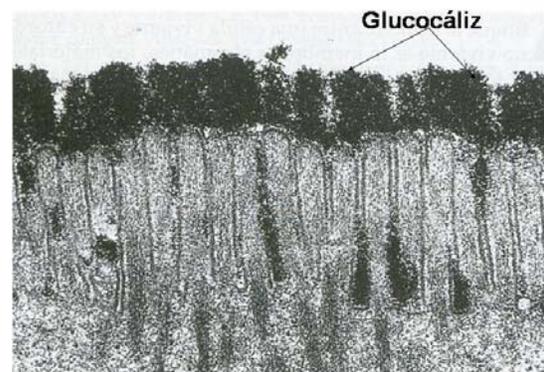


Fig. 2.15. Micrografía electrónica de una célula epitelial del intestino mostrando el glucocáliz. Tomado de Karp 1998.

## Funciones de la Membrana Plasmática

Las funciones de la membrana plasmática son muchas y muy diversas, ya que esta estructura limita el exterior con el interior de la célula, a través de ella entran o salen las diferentes sustancias que requiere para llevar a cabo su metabolismo y en gran cantidad de ocasiones la propia membrana, es utilizada como sitio para realizar reacciones bioquímicas y transformaciones energéticas. A continuación se mencionan las principales funciones de la membrana plasmática.

- **Delimita.** Confiere a la célula su individualidad, al separarla de su entorno.
- **Transporte.** Constituye una barrera con permeabilidad muy selectiva controlando el intercambio de sustancias. La membrana plasmática impide el libre paso de materiales de un lado a otro, pero al mismo tiempo propicia el medio para comunicar al interior con el exterior de la célula y viceversa, la membrana debe asegurar que las sustancias que penetran al citoplasma sean las adecuadas, y que las que representen un peligro salgan.
- **Transmisión de señales.** Controla el flujo de información entre las células y su entorno. La membrana posee receptores que se combinan con moléculas específicas llamadas **ligandos**, que tienen una estructura complementaria. Presentan distintos tipos de receptores, por lo tanto pueden reconocer y responder a diferentes moléculas de su ambiente. Las interacciones entre los receptores de la membrana y los ligandos pueden provocar que estas generen una nueva señal que estimule o inhiba las actividades internas de la célula.

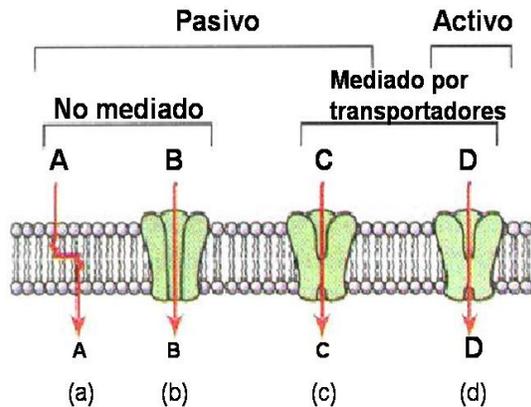
- **Participación en reacciones químicas.** Proporciona el medio apropiado para el funcionamiento de las proteínas de la membrana, muchas de estas tienen actividad enzimática.
- **Transferencia y almacenamiento de energía.** Las membranas participan en los procesos que convierten un tipo de energía en otro (transducción), la diferencia de concentración de alguna sustancia a ambos lados de una membrana es una forma de energía potencial, cuando la sustancia atraviesa del lado de mayor concentración al de menor, la célula puede convertir parte de la energía potencial almacenada en esa sustancia en energía química de las moléculas de ATP, este mecanismo es de vital importancia para la sobrevivencia de la célula.

## Transporte de Materiales a Través de la Membrana Plasmática

La membrana plasmática es una barrera con permeabilidad selectiva al flujo de sustancias hacia adentro y hacia afuera de la célula, por lo que la concentración de estas en el interior es muy diferente a la del exterior; en el transporte a través de la membrana pueden intervenir la bicapa lipídica y las proteínas de membrana.

Existen dos mecanismos básicos para que este proceso se lleve a cabo, el **transporte pasivo** (sin gasto de energía), aunque en este proceso no se requiere propiamente dicho de energía, si se necesita esta para realizar el trabajo de establecer y mantener el gradiente de concentración que propicia este tipo de proceso; y el **transporte activo** (con gasto de energía). (Fig. 2.16.)

**Información indispensable:** Al cambio gradual en la concentración de una sustancia, a través de la membrana, se le llama **gradiente de concentración**. Las soluciones **isotónicas**, **hipotónicas** e **hipertónicas** presentan igual, menor y mayor presión osmótica, respectivamente, que la de otra solución con la que se les compare.



**Fig. 2.16.** Modelo que muestra los mecanismos básicos para el transporte de solutos a través de la membrana plasmática. a) Difusión simple a través de la bicapa de lípidos. b) Difusión simple a través de un canal revestido de proteínas. c) Difusión facilitada. d) Transporte activo mediado por proteínas transportadoras. En la figura las letras mayúsculas indican mayor concentración y las minúsculas menor. Tomado de Karp 1998.

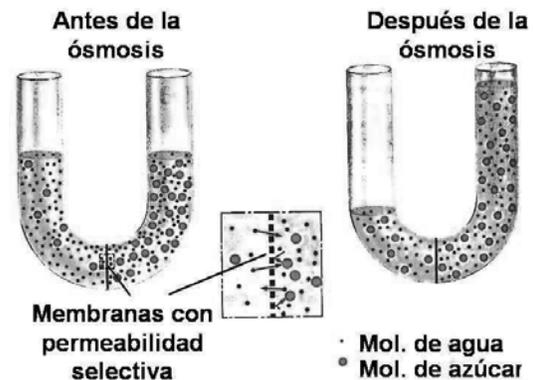
## Transporte Pasivo

En el transporte pasivo, una sustancia se desplaza de una región de más alta a una de más baja concentración, o sea que el movimiento de la sustancia es en la dirección del **gradiente de concentración** y la célula no gasta energía, se presenta en dos modalidades: la **difusión simple**, la cual se puede realizar cruzando la bicapa lipídica o a través de un canal revestido de proteínas; y la **difusión facilitada**, por medio de un facilitador del transporte.

**Difusión simple.** Una molécula se desplaza directamente a través de la

membrana, sin interactuar con otra molécula, siempre procede de los sitios de mayor a menor concentración, tomando en cuenta que a mayor liposolubilidad y a menor tamaño de la sustancia es mayor la velocidad de penetración, las membranas son muy permeables a moléculas sin carga eléctrica, inorgánicas y pequeñas como el O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, que pasan atravesando la **bicapa lipídica**.

El agua cruza mediante el proceso de **ósmosis**, que es un tipo especial de difusión, el cual implica el movimiento de moléculas a través de una membrana semipermeable, desde un lugar de alta concentración a uno de baja concentración. La rapidez de la difusión depende de la diferencia de concentración entre un lado y otro de la membrana. (Fig. 2.17.)



**Fig. 2.17.** Se muestra como las moléculas de agua pueden cruzar la membrana con permeabilidad selectiva, y las de azúcar no, el nivel del agua aumenta en la parte derecha del tubo y disminuye en la izquierda, debido a que el agua se difunde hacia la región de mayor concentración de azúcar, pero menor de agua. Tomado de Biggs 2000.

La mayoría de las células, están sujetas a los efectos de la ósmosis porque se encuentran rodeadas por agua. Sí la solución que rodea a las células es de tipo **isotónica**, la concentración de sustancias

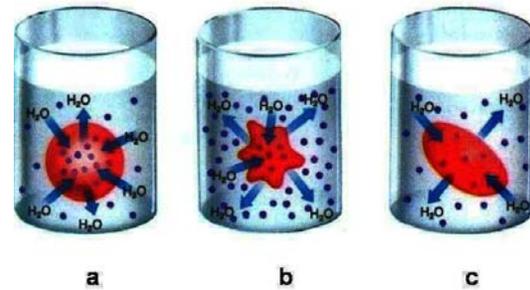
disueltas es igual afuera que adentro de la célula, por lo tanto la concentración de agua es la misma en ambos lados de la membrana plasmática, y la célula se encuentra en **equilibrio dinámico**, debido a que ya no hay gradiente de concentración.

Si la solución es **hipotónica**, la concentración de sustancias disueltas en el exterior es menor que la del interior de la célula, la ósmosis hará que el agua atraviese la membrana plasmática hacia el interior de la célula y esta se empieza a hinchar y aumenta su presión interna, y se pone **turgente**. En las células vegetales, la pared celular resiste la turgencia, pero en las animales la membrana plasmática puede reventar.

En las soluciones **hipertónicas**, la concentración de sustancias disueltas fuera es mayor que la interna de la célula, la ósmosis hará que el agua se salga de la célula y esta se encogerá perdiendo su turgencia. En las células vegetales, la membrana plasmática y el citoplasma se encogen y separan de la pared celular, y en las células animales se contraen, a este fenómeno se le llama **plasmólisis**. (Fig. 2.18.)

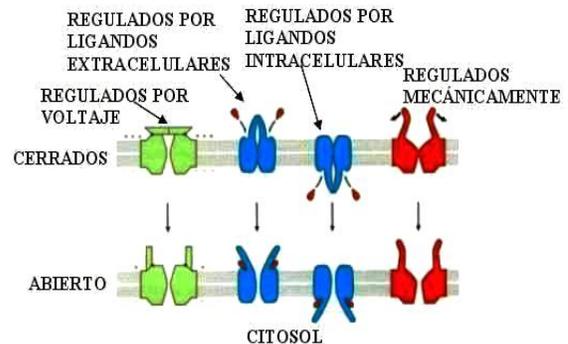
**Sabías que:** En condiciones normales, el plasma sanguíneo y todos los demás líquidos corporales son isotónicos en relación con las células, o sea que poseen una concentración de agua igual a la de la célula.

La difusión simple **a través de un canal revestido de proteínas**, permite que entren a la célula iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , y sustancias pequeñas con carga eléctrica. Los canales que se forman en la membrana se encuentran constituidos por proteínas integrales y son permeables a iones específicos, ya que sólo permiten el paso de un tipo particular de estos.



**Fig. 2.18.** Efectos causados en la célula al exponerse a soluciones con diferente concentración de solutos. a) Solución hipotónica, la célula gana agua y se hincha. b) Solución hipertónica, la célula pierde agua y se encoge. c) Solución isotónica, no hay pérdida ni ganancia de agua. Tomado de Karp 1998.

Aunque el sentido de la difusión es de un estado de mayor concentración a uno de menor, los canales iónicos permiten el paso en ambas direcciones. (Fig. 2.19.)



**Fig. 2.19.** El funcionamiento de los canales que se forman en la membrana plasmática, están regulados por: voltaje, ligandos extracelulares e intracelulares y mecánicamente. Tomado de Alberts 1996.

El movimiento de los iones, a través de la membrana es de suma importancia en diferentes actividades de la célula, como en la generación y propagación de impulsos nerviosos, la secreción de sustancias hacia el exterior de la célula, la contracción muscular y la regulación del volumen celular, entre otras.

**Sabías que:** Los canales de potasio ( $K^+$ ), cuando están abiertos pueden permitir el paso de más de un millón de iones por segundo, estos canales miden alrededor de 3 Å (0.3 nm) de diámetro.

**Difusión facilitada**, en este caso las sustancias no penetran a la membrana atravesando la capa de lípidos o por un canal abierto, sino que se unen a un **facilitador del transporte**, que es una proteína que cruza la membrana y facilita la difusión en el sentido del gradiente de concentración (de mayor a menor), aunque este proceso es parecido a los que son catalizados por enzimas, no requiere de un gasto energético.

Los facilitadores son específicos para cada sustancia y transportan cientos o miles de moléculas por segundo, según sean las necesidades de la célula. Por medio de la difusión facilitada pueden entrar o salir a través de la membrana moléculas como azúcares y aminoácidos

Como ejemplo de esta forma de transporte, se hablará del transportador de la glucosa, que es el azúcar energéticamente más importante para la mayoría de las células, existen proteínas de la membrana que facilitan su difusión desde el torrente sanguíneo al interior de las células.

Para que este proceso se lleve a cabo, se requiere de la intervención de una hormona que es la insulina, la cual desempeña un papel fundamental para mantener una concentración apropiada de azúcar en la sangre, favoreciendo la captación de glucosa proveniente de la sangre hacia las células. (Fig. 2.20.)

Cuando la concentración de insulina es baja las células contienen pocos transportadores en la superficie de su membrana, ya que estos se encuentran en

el citoplasma cerca de la membrana plasmática, cuando se eleva la cantidad de la hormona, se estimula a estos desde el citoplasma hasta la superficie celular y los transportadores se unen a la membrana de la célula.

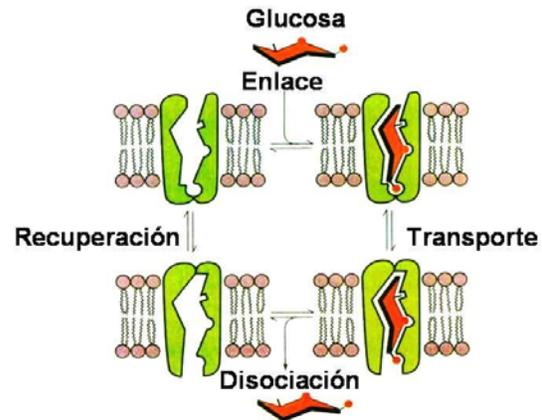


Fig. 2. 20. Difusión facilitada, esquema que muestra el funcionamiento del transportador de la glucosa. Tomado de Karp 1998.

Las personas adultas que padecen diabetes mellitus tipo II muestran niveles de insulina normales, pero sus células son incapaces para responder a la hormona, ya sea por deficiencia de los receptores de insulina o de los facilitadores de la glucosa.

### Transporte Activo

En el transporte activo, una sustancia se desplaza de una región de más baja concentración a una de más alta o sea en contra del gradiente de concentración, y el proceso requiere que la célula gaste energía.

En el transporte activo, los solutos se mueven a través de la membrana en contra del gradiente de concentración, unidos a **proteínas transportadoras** específicas que están vinculadas a una fuente de energía metabólica que es el ATP (adenosín trifosfato), o a un gradiente iónico. La energía química de la

célula se utiliza para cambiar la forma de la proteína y que esta libere al otro lado de la membrana al soluto transportado, una vez hecho esto recupera su forma original.

Un ejemplo de transporte activo, se puede ver en el proceso que realizan las proteínas transportadoras que forman la **bomba de  $\text{Na}^+$ -  $\text{K}^+$** , que se encuentra en todas las membranas plasmáticas de las células animales. Estas proteínas utilizan la energía del ATP para bombear iones  $\text{Na}^+$  hacia el exterior de la célula y iones  $\text{K}^+$  hacia el interior, en ambos casos en contra del gradiente de concentración.

Las proteínas transportadoras desempeñan un papel crucial, a través de la membrana plasmática en la generación y el mantenimiento de los gradientes de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{K}^+$ . La concentración de  $\text{K}^+$  en el interior de la célula es mucho mayor que en el exterior y la de  $\text{Na}^+$  es mayor en el exterior que en el interior, esta diferencia se mantiene gracias a la bomba de  $\text{Na}^+$  -  $\text{K}^+$ .

Por cada ATP que se hidroliza para obtener energía, se transportan 3 iones de  $\text{Na}^+$  hacia afuera de la célula y 2 iones de  $\text{K}^+$  hacia dentro, esto contribuye a mantener una separación de cargas eléctricas a través de la membrana plasmática. Los iones de sodio y potasio tienen carga eléctrica positiva, pero debido a la desigual concentración de estos en el medio intra y extra celular, el interior de la célula presenta carga negativa con respecto al exterior. En muchas células (como las neuronas) la mayor parte de su energía la consume el funcionamiento de esta bomba. (Fig. 2.21.)

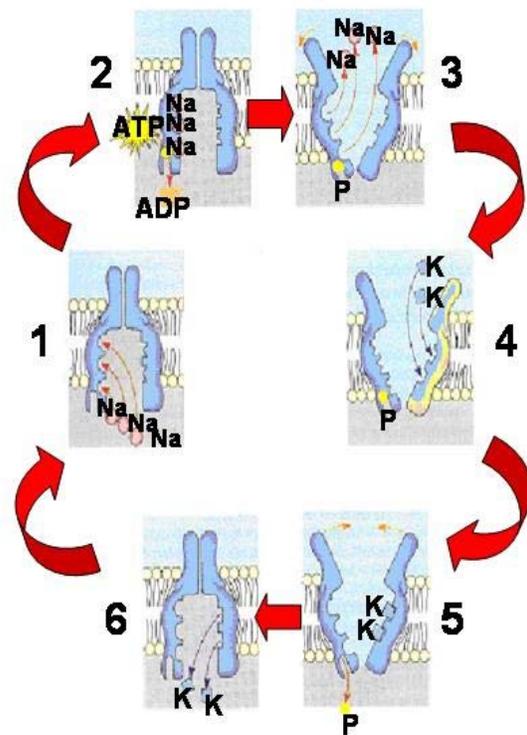
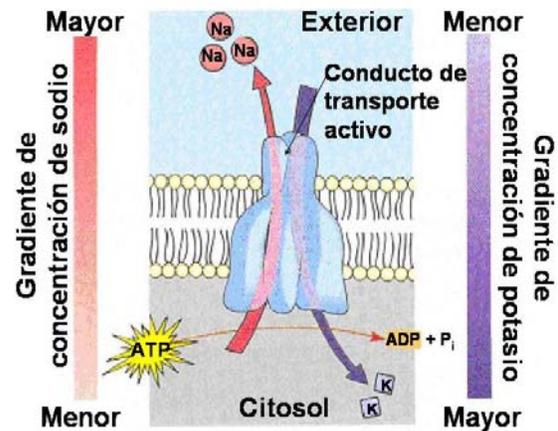


Fig. 2.21. Transporte activo, modelo del funcionamiento de la bomba de  $\text{Na}^+$  -  $\text{K}^+$ : 1) Tres iones de sodio se unen a la proteína de transporte. 2) Se transfiere un grupo fosfato del ATP a la proteína de transporte. 3) La proteína de transporte experimenta un cambio de conformación, por lo que libera tres iones sodio fuera de la célula. 4) Dos iones de potasio se unen a la proteína transportadora. 5) Se libera el fósforo. 6) La proteína de transporte recupera su forma original liberando dos iones potasio dentro de la célula. Tomado de Solomon 2001.

La **exocitosis** y la **endocitosis** son formas de transporte activo a través de la membrana plasmática, por medio de las cuales pueden salir y entrar a la célula sustancias en mayor cantidad y de mayor tamaño, incluso partículas alimenticias y hasta células completas.

La **exocitosis** es el mecanismo mediante el cual la célula puede expulsar productos de desecho o secreciones específicas como las hormonas, esto ocurre gracias a vesículas llenas de las sustancias que van a salir, que se unen a la membrana plasmática integrándose a ella y descargando su contenido al exterior. En las células secretoras se puede observar un gran número de vesículas llenas y amontonadas cerca de la membrana plasmática, la exocitosis permite desalojar materiales de gran tamaño que la célula ya no necesita, y las sustancias que produce para ser utilizadas en otra parte del organismo. (Fig. 2.22.)

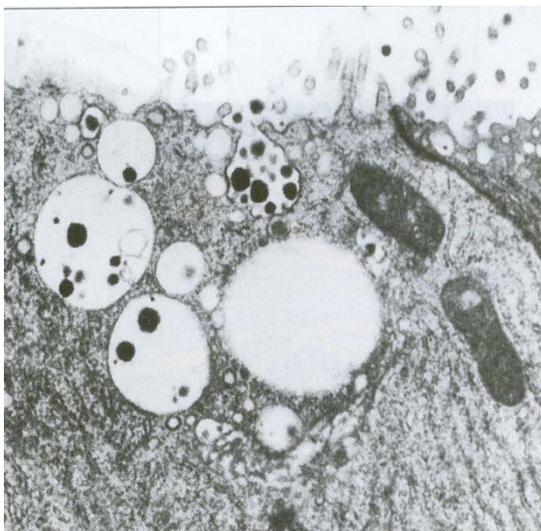


Fig. 2.22. Exocitosis, micrografía electrónica de una célula de glándula mamaria descargando su contenido al exterior. Tomado de Solomon 2001.

Otra forma de transporte activo es la **endocitosis**, que es el proceso mediante el

cual la célula introduce materiales a través de la membrana plasmática, para que esto se lleve a cabo, existen varios mecanismos como la **fagocitosis**, la **pinocitosis** y la **endocitosis mediada por receptores**.

La **fagocitosis** es una forma de endocitosis en la cual la célula capta partículas sólidas grandes que introduce al citoplasma y entrega a los lisosomas para su digestión. Algunos protistas unicelulares heterótrofos, como son por ejemplo, las amibas para alimentarse atrapan partículas de alimento o a otros organismos más pequeños, formando pliegues en la membrana plasmática que rodea a la partícula hasta que esta se cierra y forma una vacuola llamada **fagosoma**, en cuyo interior ha quedado el alimento, esta se desprende de la membrana hacia el interior de la célula y se fusiona con un lisosoma. (Fig. 2.23)

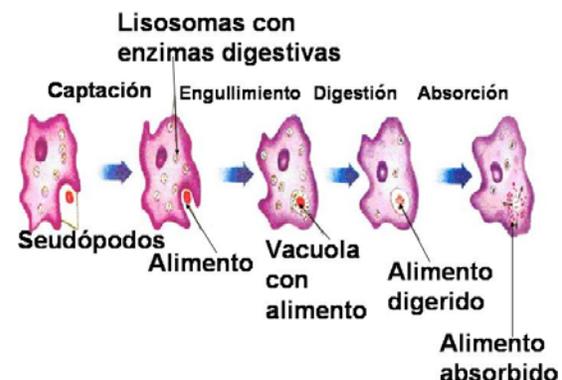


Fig. 2.23. Diagrama de las etapas de engullimiento, digestión y absorción de materiales llevados al interior de una amiba por fagocitosis. Tomado de Karp 1998.

En los mamíferos podemos encontrar varios tipos de células especializadas llamadas **fagocitos**, que funcionan como un mecanismo protector, como los macrófagos y neutrófilos que viajan por la sangre y los tejidos fagocitando bacterias, células muertas o dañadas y desperdicios.

El proceso de **pinocitosis** consiste en engullir por medio de los pliegues que se forman en la membrana plasmática, microgotas de líquido en las cuales se encuentran disueltas algunas sustancias. El término pinocitosis se utiliza para describir la captación de líquidos por los protistas, en el resto de los organismos al proceso de captar líquidos, solutos disueltos y macromoléculas suspendidas se le llama endocitosis. Los materiales que penetran a la célula por este mecanismo son captados por una serie de vesículas llamadas **endosomas**. (Fig. 2.24.)

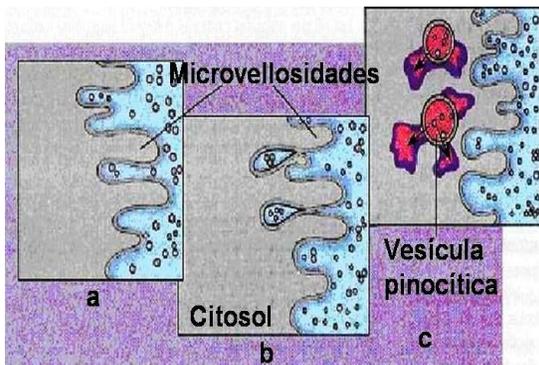


Fig. 2.24. Pinocitosis, es el mecanismo por el cual la célula absorbe moléculas disueltas. a) microgotas de líquido atrapadas en los pliegues de la membrana plasmática. b) Se desprenden pequeñas vesículas que contienen a las microgotas hacia el citosol. c) Se forman las vesículas pinocíticas, que lentamente transfieren su contenido al citosol. Tomado de Solomon 2001.

La **endocitosis mediada por receptores**, consiste en el proceso de captar sustancias específicas (ligandos), que se han unido a la membrana plasmática por medio de los receptores que se proyectan en la superficie externa, las sustancias que son captadas pueden ser hormonas, factores de crecimiento, enzimas y proteínas plasmáticas.

Los receptores se reúnen en zonas específicas llamadas **fosillas revestidas**, las cuales por el lado de la membrana que da hacia el citoplasma están cubiertas por moléculas de la proteína **clatrina**, que les proporciona una estructura de red poligonal, estas fosillas se invaginan al interior del citoplasma formando vesículas que contienen los materiales captados del exterior, que se liberan de la membrana plasmática. Las fosillas pierden su cubierta de clatrina y se unen a un endosoma que posteriormente entregará su contenido a un lisosoma. (Fig. 2.25.)

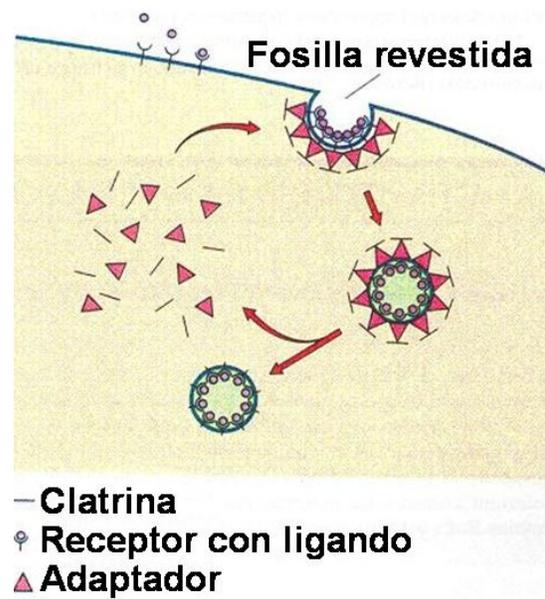


Fig. 2.25. Las fosillas revestidas con la proteína clatrina, facilitan a los receptores la captación de sus respectivos ligandos, para introducirlos a la célula. Tomado de Karp 1998.

La endocitosis mediada por receptores es un proceso que tiene la característica de realizarse muy rápido, se ha observado que en un lapso aproximado de 15 minutos, puede entrar a la célula hasta la mitad de la superficie de su propia membrana. Las células animales captan el colesterol sanguíneo por medio de este mecanismo.

## Actividades de Aprendizaje

### Actividad Práctica

#### Transporte a través de la Membrana Plasmática, Ósmosis

##### Introducción

Para que un soluto pase a través de la membrana plasmática, se requiere que se encuentre en concentraciones más elevadas fuera de la célula y que la membrana sea permeable a la sustancia. El transporte de materiales se lleva a cabo mediante dos mecanismos básicos que son: el transporte pasivo y el activo. En el primero, el movimiento de las sustancias se da del lugar de mayor concentración al de menor o sea a favor del gradiente de concentración, y en el segundo es en sentido inverso.

La difusión, es una forma de transporte pasivo, que depende de los gradientes de concentración, por este mecanismo entra a la célula a través de la membrana plasmática el H<sub>2</sub>O, en este caso ella cruza mediante el proceso de ósmosis que es un tipo especial de difusión que la mayoría de las células sufren, debido a que se encuentran rodeadas por agua, cuando la concentración de sustancias disueltas es igual dentro y fuera de la membrana se dice que la solución en la que se encuentran es isotónica. (Fig. 1)

Una solución es hipotónica cuando la concentración de sustancias disueltas es menor fuera de la célula, esto provoca que el agua entre y se hinche poniéndose turgente (Fig. 2). Las soluciones hipertónicas son aquellas en que la concentración de sustancias disueltas en el exterior de la célula es mayor que la del

interior, esto hará que el agua se salga de la célula y esta sufra plasmólisis. (Fig. 3)

En la actividad práctica que a continuación se propone, se pretende ver en el microscopio el proceso de ósmosis en células animales y vegetales sometidas a diferentes soluciones salinas.

##### Objetivos

- El alumno reconocerá al transporte a través de la membrana plasmática como un proceso de regulación celular.
- Comprenderá que los seres vivos requieren regular su funcionamiento para asegurar su supervivencia.

##### Material

1 microscopio óptico  
6 porta objetos  
6 cubre objetos  
4 goteros de vidrio  
1 agitador de vidrio  
4 vasos de precipitado de 20 ml.  
1 lanceta nueva  
Hojas de elodea  
Gotas de sangre  
20 ml. de agua destilada  
20 ml. de agua de la llave  
20 ml. de suero fisiológico  
Cloruro de sodio  
Algodón y alcohol  
Jabón, escobillón y franela  
Bata blanca

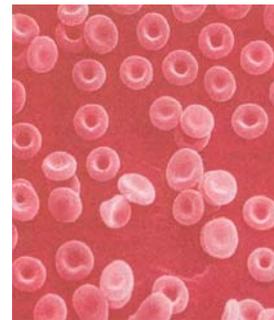
##### Método

- 1) Se limpia la mesa de trabajo y se revisa que todo el material de cristal este perfectamente lavado.
- 2) En uno de los vasos de precipitado se colocan 20 ml de agua de la llave y se satura con cloruro de sodio, moviendo con el agitador.

- 3) En los otros vasos se ponen 20 ml de agua destilada, 20 ml de agua de la llave y 20 ml de suero fisiológico, respectivamente.
- 4) Se toman tres porta objetos y se numeran del 1 al 3, se coloca una hoja de elodea en cada uno, al primero se le pone una gota de agua de la llave, al segundo una gota de agua destilada y al tercero una de la solución de agua con cloruro de sodio, se dejan reposar por espacio de 5 minutos, se colocan los cubre objetos y se observan al microscopio, primero con el objetivo de 10X y después con el de 40X, se anota lo observado y se ilustra.
- 5) Con las manos limpias y el pulgar izquierdo desinfectado con alcohol, un estudiante de cada equipo se pincha con la lanceta y coloca una gota de sangre en cada uno de los otros tres porta objetos que se numeran del 1 al 3, con el cubre objetos colocado perpendicular al porta objetos se extiende la sangre suavemente para dispersar a los glóbulos rojos (hacer un frotis).
- 6) A los porta objetos que contienen la sangre del punto anterior, se les agrega: al primero una gota de suero fisiológico, al segundo una de agua destilada y al tercero una de solución de agua con cloruro de sodio, se dejan reposar por espacio de 5 minutos, se colocan los cubre objetos y se observa al microscopio, primero con el objetivo de 10X y después con el de 40X, se anota lo observado y se ilustra.
- 7) Se recomienda que el estudiante que dono la sangre, sea el que manipule y lave los porta y cubre objetos que se usaron, para que ningún otro este en contacto con esta.
- 8) Se lava el material que se utilizó y se limpia la mesa de trabajo.

## Resultados

- Los alumnos elaboraran una tabla en la que registraran las observaciones que hicieron, comparando y explicando lo que ocurrió en cada una de las preparaciones que observaron
- Con los datos de la tabla anterior, harán un cuadro comparativo de los efectos en las células animales y vegetales causados por las soluciones: isotónicas, hipotónicas e hipertónicas.
- Presentarán las ilustraciones que hicieron, para mostrar los efectos físicos en las células, después de ser sometidas a las diferentes soluciones.
- Resolverán el cuestionario que contiene preguntas generales sobre el tema.
- Los estudiantes entregarán un reporte de la práctica.



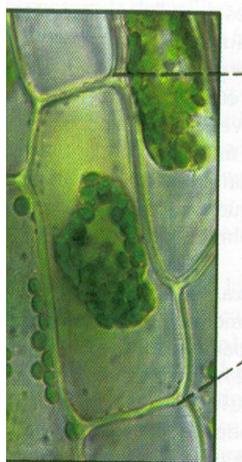
**Fig. 1 Glóbulos rojos de vertebrados con su forma normal en solución isotónica (suero fisiológico)**



**Fig. 2 Glóbulos rojos de vertebrados hinchados por estar en una solución hipotónica (agua destilada)**



**Fig. 3** Glóbulos rojos de vertebrados encogidos por estar en una solución hipertónica (agua de la llave con cloruro de sodio)



**Fig. 4** Células de elodea en solución hipotónica e hipertónica.

## Cuestionario

1. ¿Qué tipo de solución es el suero fisiológico?
2. ¿Qué le ocurre a la membrana plasmática de las células de elodea, cuando están en una solución hipertónica?
3. ¿Qué les pasa a los glóbulos rojos cuando se encuentran en una solución hipotónica?
4. ¿Qué tipo de solución es el agua de la llave?
5. ¿Qué nombre recibe el fenómeno que les ocurre a las células cuando captan demasiada agua y se hinchan?
6. ¿Qué nombre recibe el fenómeno que les ocurre a las células cuando pierden demasiada agua y se encogen?

## Conclusiones

En base a sus resultados serán hechas por los estudiantes en el reporte que entreguen de la práctica.

## Sugerencias

- Se recomienda que la práctica se haga en equipo de cinco personas.
- Que los estudiantes profundicen en el tema del transporte a través de la membrana plasmática, y en especial sobre ósmosis.
- Se recomienda que la primera preparación que se observe al microscopio sea la de los glóbulos rojos con la solución de cloruro de sodio, ya que los efectos se ven rápidamente.
- Se sugiere utilizar el microscopio de contraste de fases, para observar a los eritrocitos.
- Se recomienda que un estudiante de cada equipo, sea el que done las gotas de sangre y que solo él las manipule.

## **Bibliografía:**

- Alberts, B, Bray, D., et al., “Biología Molecular de la Célula”, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona España, 1996, pp 541-552.
- Biggs, A, Kapicka, Ch y Lundgren, L., “Biología. La Dinámica de la Vida”, Ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2000, pp 214-235.
- Karp, G., “Biología Celular y Molecular”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 1998, pp 141-148.
- Solomon, E. P, Berg, L. R, Martin, D. W; “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed., México, D.F., 2001, pp 113-122.

## **Actividad Práctica**

### **Relaciones Osmóticas**

#### **Introducción**

La membrana plasmática, es una barrera dinámica que separa el interior de la célula del medio circundante, al mismo tiempo regula selectivamente el movimiento de los solutos, solventes y partículas hacia dentro y fuera de la célula, permitiendo que distintas sustancias pasen a través de ella a diferentes velocidades. Las moléculas de agua se difunden libremente en forma regular y rápida, pero no así los solutos de mediano tamaño como azúcares y aminoácidos.

Como ya se mencionó, en el caso del agua esta cruza la membrana mediante el proceso de ósmosis que es un tipo especial de difusión.

En la actividad práctica que a continuación se propone, se pretende ver de forma macroscópica el proceso de ósmosis en células de papa.

#### **Objetivo**

- El alumno observará los cambios de masa que ocurren en la papa cuando esta es sometida a diferentes concentraciones de soluciones salinas.

#### **Material**

5 vasos de precipitado de 20 ml.  
1 balanza eléctrica  
1 papa  
1 navaja nueva  
20 ml. de Solución de cloruro de sodio al 0.5%  
20 ml. de Solución de cloruro de sodio al 1.0%  
20 ml. de Solución de cloruro de sodio al 1.5%  
20 ml. de agua destilada  
20 ml. de agua de la llave  
1 papa cruda  
1 agitador de vidrio  
Toallitas de papel  
Jabón, escobillón y franela  
Bata blanca

#### **Método**

1. Se limpia la mesa de trabajo y se revisa que todo el material de cristal este perfectamente lavado.
2. Numerar los vasos del 1 al 5 y en ese orden se colocan las soluciones salinas y el agua.
3. Quitarle la cáscara a la papa y partirla en trozos pequeños, aproximadamente del mismo tamaño.
4. Pesar cada trozo de papa, colocar uno en cada vaso y dejarlos reposar por 30 minutos.

5. Una vez transcurridos los 30 minutos, sacar los trozos de papa, secarlos con las toallas de papel y volver a pesarlos.
6. Se lava el material que se utilizó y se limpia la mesa de trabajo.

### Resultados

- Comparar la diferencia de peso de cada trozo de papa, antes y después de ponerlos en las soluciones.
- Con los resultados obtenidos, elaborar una tabla en donde se puedan ver los cambios de masa que sufrió la papa en las diferentes soluciones.
- Graficar los resultados.
- Resolver el cuestionario que contiene preguntas generales sobre el tema.
- Los estudiantes entregarán un reporte de la práctica.

### Cuestionario

1. ¿Qué tipo de solución es el agua de la llave?
2. ¿Cuál de las soluciones salinas era la más hipertónica?
3. ¿Cuáles trozos de papa fueron los que aumentaron su masa y por que?
4. ¿Cuales trozos de papa disminuyeron su masa y por que?
5. ¿Qué tipo de solución es el agua destilada?

### Conclusiones

En base a sus resultados serán hechas por los estudiantes en el reporte que entreguen de la práctica.

### Sugerencias

- Los trozos de papa deben estar perfectamente cubiertos por la

solución cuando se encuentren en los vasos.

- Esta práctica, también se puede hacer con diferentes concentraciones de soluciones de sacarosa.
- La papa se debe pelar y cortar en el momento de ponerla en los vasos.
- Se recomienda que la práctica se haga en equipo de cinco personas.

### Bibliografía

- Alberts, B, Bray, D., et al., “Biología Molecular de la Célula”, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona España, 1996, pp 541-552.
- Biggs, A, Kapicka, Ch y Lundgren, L., “Biología. La dinámica de la vida”, Ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2000, pp 214-235.
- Karp, G., “Biología Celular y Molecular”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 1998, pp 141-148.
- Solomon, E. P, Berg, L. R, Martin, D. W., “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed., México, D.F., 2001, pp 113-122.

### Ejercicio

Elaborar un mapa conceptual que relacione los siguientes términos, colocando las palabras que hagan falta para conectar los conceptos. Ósmosis, difusión, transporte activo, transporte pasivo, membrana plasmática, proteínas de transporte, agua, iones, glucocáliz.

**Relacione a los autores con su aportación a la ciencia, colocando el número en el paréntesis correspondiente (puede haber más de un número por paréntesis y estos pueden repetirse)**

<b>Autor</b>	<b>Aportaciones a la Ciencia</b>
1. Claude Bernard	• Determina que las sustancias liposolubles atraviesan a la membrana con mayor facilidad que las hidrosolubles. ( )
2. Walter Cannon	
3. E. Gorter	
4. F. Grendel	• Proponen un modelo de membrana en los años sesentas ( )
5. E. Overton	• Hipótesis de la membrana unitaria ( )
6. Hugh Davson	
7. James Danielli	• Modelo de mosaico fluido ( )
8. David Robertson	• Ganador del Premio Nobel de Fisiología en 1932 ( )
9. David Green	
10. Ronald Capaldi	• Hicieron la medición del área superficial de glóbulos rojos para determinar la cantidad de lípidos por célula ( )
11. Jonathan Singer	
12. Garth Nicolson	• Primer modelo de la membrana plasmática propuesto en 1935 ( ) • Padre del concepto de homeostasis ( ) • La doble capa de fosfolípidos se mantiene como el esqueleto en el cual se insertan algunas proteínas ( ) • Propusieron por primera vez que las membranas celulares podían tener una bicapa lipídica ( )

I	P	R	O	T	E	I	N	A	S	I	N	T	E	G	R	A	L	E	S	X	A	X	Z	A	D	H	P	
S	F	H	U	D	S	T	R	Y	I	O	P	P	P	H	H	Z	H	D	S	X	V	G	G	P	L	R	O	
O	H	I	D	R	O	F	I	L	I	C	O	O	N	Y	I	E	I	O	P	I	N	O	C	P	L	O	O	
T	T	I	G	A	N	J	T	R	L	E	B	I	C	O	D	Z	L	L	S	T	E	N	Y	I	S	R	T	
O	B	I	C	A	P	A	L	I	P	I	D	I	C	A	R	R	A	D	X	H	G	K	E	N	O	E	E	
N	G	E	N	E	A	O	B	N	F	U	H	H	L	D	O	I	C	A	M	B	I	O	E	O	A	T	I	
I	C	G	H	B	D	E	L	A	M	A	L	O	I	S	F	O	O	A	I	U	Y	T	D	C	D	S	N	
C	A	N	F	I	P	A	T	I	C	A	L	M	S	G	O	R	C	E	S	O	Y	T	F	I	I	E	A	
A	R	F	E	N	O	T	I	P	G	Y	R	E	C	I	B	A	U	U	T	A	C	I	O	T	T	L	S	
Z	B	C	I	O	N	R	U	F	B	E	A	O	L	E	I	H	L	L	R	O	T	I	U	O	E	O	P	
O	O	E	Y	F	C	D	D	N	K	A	T	S	M	L	C	P	G	D	A	E	R	I	U	S	T	C	E	
R	H	R	T	V	I	I	A	N	M	T	I	T	A	N	O	M	E	M	B	R	A	N	A	I	N	I	R	
P	I	E	I	U	N	F	O	O	D	A	S	A	H	J	I	R	A	Z	S	U	C	D	G	S	D	M	I	
E	D	R	Q	T	V	U	S	U	P	O	V	S	I	D	U	J	B	N	P	R	B	O	U	B	S	L	F	
R	R	A	M	I	S	S	B	F	A	S	V	I	L	U	C	I	O	N	O	T	D	O	A	S	A	Y	E	
B	A	S	A	N	M	I	F	D	R	M	C	S	I	O	P	J	U	V	R	V	C	R	F	E	T	L	R	
I	T	D	A	O	R	O	F	J	G	O	T	R	A	N	S	P	O	R	T	E	A	C	T	I	V	O	I	
E	O	R	R	F	E	N	B	L	H	S	S	H	A	C	I	O	N	R	E	E	D	S	P	D	O	F	C	
C	S	C	D	P	H	Y	G	T	N	I	U	B	L	A	C	O	E	I	I	A	R	D	G	A	F	E	U	A
U	E	X	O	C	I	T	O	C	I	S	T	I	K	S	P	P	N	A	C	C	F	H	T	V	T	O	S	
A	G	O	R	U	N	P	U	O	E	M	O	S	A	I	C	O	F	L	U	I	D	O	I	A	D	P	S	
B	I	O	G	E	O	G	R	A	F	H	A	L	E	E	S	T	A	I	I	L	I	P	I	D	O	S	R	
O	S	D	L	N	E	I	N	V	I	A	B	A	L	T	F	I	S	V	V	N	T	A	A	U	T	L	A	
S	E	M	I	P	E	R	M	E	A	B	L	E	J	C	A	H	R	A	O	A	I	D	R	M	O	B	I	

**SOPA DE LETRAS**

**Encuentra las siguientes palabras.**

- |                 |             |                |                       |
|-----------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Anfipática      | Exocitosis  | Isotónica      | Pinocitosis           |
| Bicapa lipídica | Glucocáliz  | Lípidos        | Proteínas integrales  |
| Carbohidratos   | Hidrofílico | Membrana       | Proteínas periféricas |
| Colesterol      | Hidrofóbico | Mosaico fluido | Semipermeable         |
| Difusión        | Homeostasis | Ósmosis        | Transporte activo     |

## Cuestionarios

### Cuestionario de preguntas abiertas

**Instrucciones:** Conteste correctamente las preguntas siguientes.

1. Describe brevemente en que consiste el modelo de la estructura de la membrana plasmática propuesto por Davson y Danielli.
2. Explica con un dibujo el modelo de la membrana unitaria propuesto por Robertson.
3. ¿Quiénes plantearon el modelo de mosaico fluido para describir la estructura de la membrana plasmática?
4. Haz un dibujo explicando como se acomodan los fosfolípidos, las proteínas integrales y periféricas, así como el colesterol en el modelo de mosaico fluido.
5. Di cuales son las moléculas que forman a la membrana plasmática.
6. ¿Qué tipo de lípidos hay en la membrana plasmática?
7. En que células podemos encontrar al colesterol formando parte de la membrana plasmática.
8. ¿Cómo se clasifican las proteínas integrales de la membrana, según el número de veces que la atraviesan?
9. De que manera se unen a la membrana las proteínas periféricas.
10. ¿Cómo se encuentran unidos a la membrana plasmática los carbohidratos y en que parte se encuentran?
11. ¿Cuál es la principal función de los carbohidratos en la célula?
12. Mencione tres funciones de la membrana plasmática.
13. Menciona tres funciones del glucocáliz.

14. Explica como se hace el transporte de sustancias a través de la membrana plasmática.
15. ¿Cuántas formas de transporte pasivo podemos encontrar y en que consisten, explica?
16. Describe brevemente como funciona la bomba de  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ .
17. Describe en que consiste el proceso de fagocitosis.
18. ¿Crees que pueda ocurrir la ósmosis en una célula colocada en una solución isotónica? porque.
19. ¿Qué forma tienen las células animales que se encuentran en una solución hipotónica?
20. ¿Qué forma tienen las células vegetales que se encuentran en una solución hipertónica?

### Cuestionario de autoevaluación

**Instrucciones:** Subraya la letra que corresponda a la respuesta correcta.

- 1.- ¿Cómo se le llama al conjunto de membranas que delimitan o compartimentalizan a la célula?  
a) Membrana unitaria  
b) Sistema endomembranoso  
c) Membrana plasmática  
d) Membrana permeable
- 2.- ¿Qué nombre recibe la membrana externa de la célula?  
a) Membrana lipídica  
b) Membrana citoplasmática  
c) Membrana plasmática  
d) Membrana uniforme
- 3.- ¿Qué nombre se da a las moléculas que presentan una región hidrofóbica y una hidrofílica?  
a) Anfipáticas  
b) Solubles  
c) Insolubles  
d) Dinámicas

4.-A las proteínas de la membrana plasmática que se encuentran en las superficies interna y externa se les llama:

- a) Intrínsecas
- b) Periféricas
- c) Embutidas
- d) Exteriores

5.-Los carbohidratos de la membrana que se unen a lípidos o a proteínas reciben los nombres de:

- a) Glucolípidos y glucoproteínas
- b) Glucolípidos y alcanos
- c) Lipoproteínas y oligosacáridos
- d) Polisacáridos y Disacáridos

6.- ¿Qué nombre recibe el conjunto de carbohidratos que se unen a la membrana externamente formando parte de una capa que protege a la célula?

- a) Capa exterior
- b) Capa protectora
- c) Glucocáliz
- d) Glucolípidos

7.- Por el hecho de impedir el libre paso de materiales de un lado a otro de la célula, se dice que la membrana es:

- a) Impermeable
- b) Semipermeable
- c) Permeable
- d) Porosa

8.- La difusión simple a través de la bicapa lipídica, se dice que es una forma de:

- a) Transporte pasivo
- b) Transporte activo
- c) Transporte intermedio
- d) Transporte masivo

9.- ¿Cuándo los solutos se mueven a través de la membrana en contra del gradiente de concentración, se dice que es un?

- a) Transporte pasivo
- b) Transporte activo
- c) Transporte intermedio
- d) Transporte masivo

10.- ¿Cómo es la concentración de potasio dentro de la célula en comparación con el exterior?

- a) Igual
- b) Mayor
- c) Menor
- d) Pobre

11.- Al mecanismo por medio del cual la célula puede expulsar productos de desecho o secreciones se le llama:

- a) Exocitosis
- b) Endocitosis
- c) Fagocitosis
- d) Pinocitosis

12.- La endocitosis es el proceso a través de la membrana mediante el cual la célula puede:

- a) Expulsar sustancias
- b) Introducir sustancias
- c) Digerir sustancias
- d) Descomponer sustancias

13.- ¿Qué nombre recibe el proceso por medio del cual entra y sale agua de la célula?

- a) Ósmosis
- b) Hidratación
- c) Deshidratación
- d) Turgencia

14.- ¿Qué nombre recibe el proceso de encogimiento de las células que se encuentran en una solución hipertónica?

- a) Turgencia
- b) Hidratación
- c) Deshidratación
- d) Plasmólisis

15.- El proceso mediante el cual se pasa información del exterior de la célula al interior a través de la membrana se llama:

- a) Comunicación celular
- b) Transporte de señales
- c) Intercambio
- d) Señales

## Glosario

- **Aleatorio.** Que depende de la suerte o del azar.
- **Ångström.** Å unidad equivalente a 0.1 nm que se emplea para expresar dimensiones atómicas y moleculares.
- **Asimétrico.** Que no tiene simetría.
- **Difusión.** Es el movimiento neto de las partículas de una zona de alta concentración hacia una de menor concentración.
- **Endosoma.** Orgánulo de las células animales delimitado por una sola membrana, que transporta materiales que acaban de incorporarse por endocitosis. La mayor parte del material es transferido a los lisosomas para su degradación.
- **Engullir.** Tragar, comer.
- **Enlace amídico.** Ocurre entre grupos R que tengan radicales carboxilo y amino.
- **Eritrocitos.** Pequeñas células de la sangre de los vertebrados, que contiene hemoglobina y que transporta oxígeno y dióxido de carbono a y desde los tejidos.
- **Extrínseco.** Que es externo
- **Glicerol.** Alcohol de tres carbonos, con un grupo hidroxilo en cada uno de ellos, componente de grasas neutras y fosfolípidos.
- **Glucagon.** Hormona pancreática que estimula la degradación del

glucógeno, con lo que incrementa la concentración de glucosa en la sangre.

- **Glucemia.** Presencia de glucosa en la sangre.
- **Glucógeno.** Principal polisacárido de almacenamiento en las células animales, formado a partir de glucosa y almacenado principalmente en las células hepáticas y en menor medida en las musculares.
- **Gradiente de concentración.** Diferencia de concentración de una sustancia de un lugar a otro.
- **Hidrofílico.** Que es atraído por el agua.
- **Hidrofóbico.** Que es repelido por el agua.
- **Hidrólisis.** Reacción en la que se rompe un enlace covalente entre dos subunidades por medio de la adición de una molécula de agua.
- **Hidrosoluble.** Que se disuelve en agua.
- **Hiperglucemia.** Exceso de glucosa en la sangre.
- **Hipoglucemia.** Disminución de la cantidad normal de azúcar en la sangre.
- **Insaturado.** Molécula que contiene uno o más dobles o triples enlaces carbono-carbono.
- **Insulina.** Hormona polipeptídica segregada por las células  $\alpha$  de los islotes de Langerhans del páncreas, que entre otras cosas, colabora en la regulación del metabolismo de la glucosa en los animales.
- **Intrínseco.** Que esta dentro de.
- **Invaginación.** Doblar los bordes hacia dentro.
- **Iones.** Átomo o grupo de átomos con carga eléctrica.
- **LDL.** Lipoproteínas de baja densidad, que intervienen en el transporte del colesterol.

- **Leucocitos.** Glóbulos blancos células ameboides incoloras que defienden al cuerpo contra microorganismos patógenos.
- **Ligando.** Cualquier molécula que se pueda enlazar a un receptor debido a que posee una estructura complementaria.
- **Liposoluble.** Soluble en las grasas o en los aceite.
- **Lisosoma.** Organelos intracelulares presentes en muchas células animales, contienen diversas enzimas hidrolíticas.
- **Macrófago.** Célula fagocítica grande capaz de ingerir y digerir bacterias y detritus celulares.
- **Nanómetro.** NM unidad de longitud habitualmente utilizada para medir moléculas y orgánulos celulares.  $1\text{nm}=10^{-3}\mu\text{m}=10^{-9}\text{m}$ .
- **Neutrófilos.** Un tipo de leucocito granular.
- **Oligosacárido.** Carbohidrato formado por un número reducido de azúcares.
- **Ósmosis.** Movimiento neto de agua por difusión a través de una membrana selectivamente permeable, desde una región de mayor concentración de agua a una de menor concentración de agua.
- **Partículas.** Elemento constituyente del átomo.
- **Protistas.** Amplio reino de eucariontes, principalmente unicelulares o multicelulares simples, la mayor parte acuáticos.
- **Plasmólisis.** Encogimiento del citoplasma y separación entre la membrana plasmática y la pared celular, cuando una célula vegetal pierde agua en un ambiente hipertónico.
- **Saturado.** Solución que contiene la mayor cantidad posible de soluto.
- **Solutos.** Cualquier molécula que éste disuelta en un líquido. Al líquido se le denomina solvente.
- **Transducción.** Conversión de energía de una forma a otra, como la conversión de energía química en calorífica cuando se quema un combustible.
- **Turgente.** Hinchamiento de las células por acumulación de agua ocurre en un ambiente hipotónico.
- **Vesícula.** Cualquier saco pequeño, en especial un compartimento membranoso esférico contenido en el citoplasma.

## Bibliografía

- **Alberts, B., Bray, D., et al.,** *Biología Molecular de La Célula*, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona España, 1996, pp.1387.
- **Avers, Ch. J.,** *Biología Celular*, Ed. Iberoamérica, 2ª ed., New York E. U, 1983, pp. 87-90.
- **Biggs, A., Kapicka, Ch. y Lundgren, L.,** *Biología La dinámica de la vida*, Ed. McGraw-Hill, México, D. F., 2000, pp. 737.
- **Grosbras, M. H., Adoutte, A.,** *La célula, Mundo Científico*, N° 233, 2002, pp. 78-81.
- **Karp, G.,** *Biología Celular y Molecular*, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, D. F., 1998, pp. 746.
- **Solomon, E., P., Berg, L. R. Martin, D. W.,** *Biología*, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed., México, D. F., 2001, pp. 1237.
- **Stryer, L.,** *Bioquímica*, Tomos 1 y 2, Ed. Reverté, 4ª ed., Barcelona España, 1995, pp. 1010.

- **Campbell, M. K., Farrell, S. O.,** *Bioquímica* Ed. Thomson, México, D.F., 2004, pp. 725.
- <http://www.monografias.com/trabajos14/membranacelular>
- [http://www.puc.cl/sw\\_edu/biologia/bio100/html/portadaMIval2.5html](http://www.puc.cl/sw_edu/biologia/bio100/html/portadaMIval2.5html)
- <http://www.tcb.cl/1535/article-61144.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/transporte\\_celular](http://es.wikipedia.org/wiki/transporte_celular)
- <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c1-1-2-1.html>
- [http://www.upch.edu.pe/facien/ddf/fisiohum/Membrana\\_FLU.ppt](http://www.upch.edu.pe/facien/ddf/fisiohum/Membrana_FLU.ppt)
- <http://html.rincondelvago.com/membrana-plasmatica.html>

- 4. - b
- 5. - a
- 6. - c
- 7. - b
- 8. - a
- 9. - b
- 10- b
- 11- a
- 12- b
- 13- a
- 14- d
- 15- a

## Respuestas

### Cuestionario de Autoevaluación

- 1. - b
- 2. - c
- 3. - a

### Autores y su Aportación a la Ciencia

- ( 5 )
- ( 9, 10 )
- ( 8 )
- ( 11, 12 )
- ( 2 )
- ( 3, 4 )
- ( 6, 7 )
- ( 1 )
- ( 11, 12 )
- ( 3, 4 )

## Capítulo 3

### *Procesos de Conservación*

*“La respiración no es más que una combustión lenta de carbono e hidrógeno que es totalmente similar a lo que ocurre en una lámpara o candela encendidas y, desde este punto de vista, los animales que respiran son verdaderos cuerpos combustibles que se queman y consumen así mismos”*

*Antonie Lavoiser, 1743-1794.*

# ÍNDICE

	Pág.
• <b>Procesos de Conservación</b>	80
• <b>Objetivos del capítulo</b>	80
-Conceptos previos	80
• <b>Metabolismo</b>	80
-Rutas metabólicas	81
• <b>Bioenergética</b>	83
-Los sistemas Vivos y las leyes de la termodinámica	84
• <b>Respiración Celular</b>	85
-Respiración y las reacciones Redox	85
-La oxidación de los carbohidratos	86
-El adenosin trifostato o ATP	86
• <b>Respiración Aerobia y Anaerobia</b>	86
-Las mitocondrias	87
• <b>Respiración Aerobia</b>	88
-I Glucólisis	88
-Fase preparatoria	88
-Fase de beneficio	89
-II Transformación de Piruvato en acétil-coenzima A	89
-III Ciclo del ácido cítrico	91
-IV Cadena de transporte de electrones y quimiósmosis	92
-Cadena de transporte de electrones	93
• <b>Respiración Anaerobia</b>	94
-La fermentación	95
-Glucólisis	95
-Fermentación Láctica	95
-Fermentación Alcohólica	96
• <b>Fotosíntesis</b>	98
-La luz	99
-Las clorofilas	100
-Los cloroplastos	101
-Haciendo cosas con la luz, la fotosíntesis	104
-Fase luminosa	105
-Fase oscura	108
-Etapa I fijación del bióxido de carbono	109
-Etapa II, reducción	109
-Etapa III, regeneración de la ribulosa 1,5 bifosfato	109
• <b>Replicación del ADN</b>	110
-Desenrollamiento del ADN	111
-Síntesis del ADN	111
• <b>Síntesis de Proteínas</b>	113
-Transcripción	113
-Traducción	114
• <b>Actividades de aprendizaje</b>	118
• <b>Sugerencias de actividades de aprendizaje</b>	128
• <b>Actividades de evaluación</b>	129
• <b>Glosario</b>	135
• <b>Bibliografía</b>	136
• <b>Hoja de respuestas</b>	137

## Procesos de Conservación

Los sistemas vivos se conservan y mantienen, gracias a la capacidad que poseen de efectuar por sí mismos diversos procesos biológicos dentro de su propio cuerpo. Para realizar estos procesos, los seres vivos requieren obtener materiales y energía del medio ambiente, para procesarlos, modificarlos y utilizarlos en la síntesis, sostén y reparación de sus propias estructuras, así como, para eliminar las sustancias que ya no les son útiles. Todas estas actividades biológicas están determinadas a nivel celular por su metabolismo.

El **metabolismo** es el conjunto de reacciones bioquímicas, que se realizan en cada una de las células que integran a un organismo. Estas reacciones no actúan solas, sino que lo hacen en conjunto y en determinadas secuencias catalizadas por enzimas, a estas se les llaman **rutas o vías metabólicas** y las podemos clasificar en dos grupos: las **catabólicas** y las **anabólicas**.

- Las vías catabólicas se encargan de romper o degradar las moléculas alimenticias con el propósito de obtener energía y moléculas más sencillas, la respiración celular es un ejemplo de estas.
- Las vías anabólicas, son también llamadas fases de biosíntesis del metabolismo, son las encargadas de elaborar macromoléculas a partir de moléculas sencillas, necesarias para mantener la estructura y función corporal, algunos ejemplos de estas son: la fotosíntesis, la replicación del ADN y la síntesis de proteínas.

## Objetivos del Capítulo

### El Lector:

- Explicará los aspectos generales de la fotosíntesis, respiración, fermentación, replicación de ADN y síntesis de proteínas.
- Comprenderá que los sistemas vivos se mantienen gracias a su capacidad de transformar energía.
- Comprenderá que los sistemas vivos se perpetúan y mantienen debido a que el ADN tiene la capacidad de replicar su información y transcribirla para que se traduzca en proteínas.

<b>Conceptos previos:</b> Biomoléculas, enzimas, células procariotas y eucariotas, membrana celular, ribosoma, cloroplastos, núcleo, glucosa, ácidos nucleicos, proteínas, molécula, ósmosis.
---

## Metabolismo

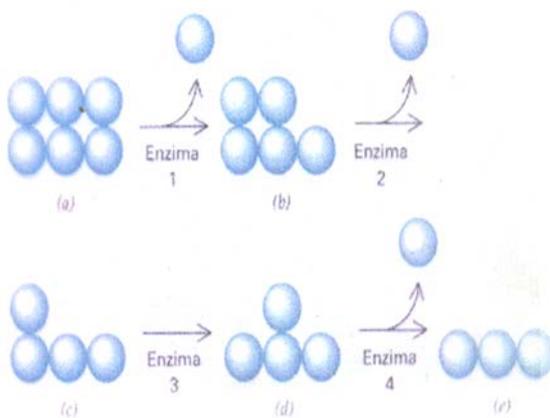
Las funciones propias de la vida son: nacer, respirar, nutrirse, desarrollarse, crecer, mantenerse, repararse, excretar, reproducirse y morir, todas estas actividades biológicas están determinadas a nivel celular por reacciones bioquímicas y transformaciones energéticas, al conjunto de todas estas, se les conocen como metabolismo, palabra que deriva del vocablo griego *metabolé* que significa cambio o transformación.

El metabolismo es un conjunto de procesos biológicos que permiten que se desarrolle la vida. Ninguna de las reacciones químicas actúa por separado,

sino que se agrupan para formar vías o rutas metabólicas.

Una vía metabólica es una secuencia de reacciones bioquímicas que son catalizadas por enzimas específicas, cada una está determinada por un número y secuencia de reacciones definidas, que tienen por finalidad la formación de una molécula determinada.

Las moléculas que inician la ruta metabólica son llamadas **precursores**, las cuales en cada etapa sufrirán un pequeño cambio químico específico, normalmente relacionado con la eliminación, transferencia o adición de un átomo o grupo funcional determinado, por lo tanto en cada paso se genera una molécula modificada, a la cual se le conoce como **metabolito** o **compuesto endógeno**. Al final de la ruta se habrá formado una nueva molécula denominada **producto**. (Fig. 3.1.)



**Fig. 3.1.** Las vías metabólicas están determinadas por una secuencia de reacciones bioquímicas, para producir una molécula final llamada producto. Tomado de Karp 1998.

**Recapitulando:** una vía metabólica inicia con una molécula precursora, que será transformada en distintos metabolitos por las diferentes enzimas, hasta llegar a formar la molécula final llamada producto.

Los investigadores **Nelson** y **Cox** consideran que el metabolismo es una actividad celular muy bien coordinada, en la que participan muchos sistemas multienzimáticos que cooperan para cumplir cuatro funciones:

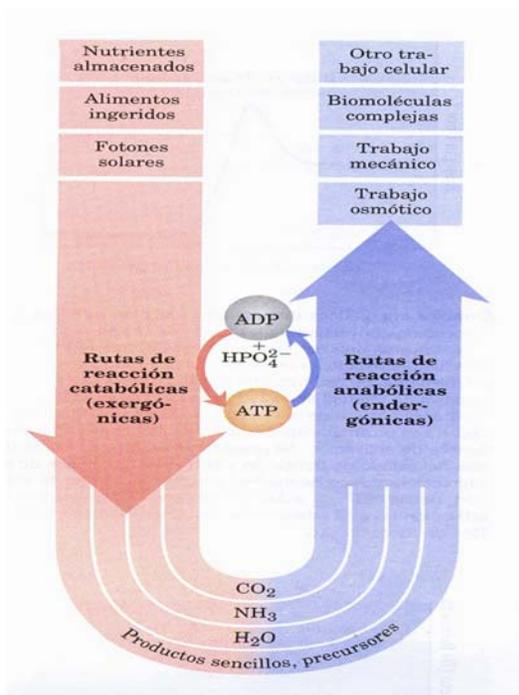
- 1) Obtener energía química a partir de la captación de la energía solar o degradando nutrientes ricos en energía.
- 2) Convertir a los nutrientes en moléculas características de la propia célula, incluidos los precursores de macromoléculas.
- 3) Polimerizar moléculas sencillas como: monosacáridos, nucleótidos, aminoácidos, etc., en macromoléculas complejas (polisacáridos, ácidos nucleicos, proteínas, etc.).
- 4) Sintetizar y degradar biomoléculas requeridas en funciones celulares especializadas, tales como lípidos de membrana, mensajeros intracelulares y pigmentos.

### Rutas Metabólicas

Se clasifican en dos grandes grupos: las vías catabólicas y las anabólicas, las primeras, representan la fase de degradación del metabolismo, ya que son las rutas que rompen las macromoléculas para formar otras más pequeñas, por ejemplo a partir de la

molécula de almidón se pueden obtener azúcares simples como la glucosa.

La finalidad es poner a disposición de la célula, moléculas más pequeñas a partir de las cuales se puedan formar otras más complejas, pero no sólo eso, sino también contribuyen con la aportación de energía química útil para la célula en forma de ATP, la respiración anaerobia y aerobia son ejemplos de rutas catabólicas. (Fig. 3.2.)

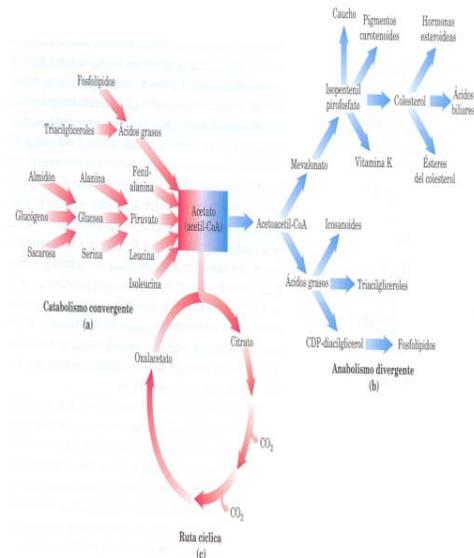


**Fig. 3.2.** Las vías catabólicas y anabólicas son complementarias. Las vías catabólicas liberan energía y las anabólicas la consumen. Tomado de Nelson y Cox 2001.

Las vías anabólicas se encargan de elaborar moléculas complejas a partir de sustancias más simples, estas requieren consumir energía química para formar macromoléculas como, ácidos nucleicos, proteínas o polisacáridos, necesarias para que las células las utilicen como estructuras corporales o en distintos procesos biológicos. Por

esta razón las rutas anabólicas son consideradas las fases de biosíntesis del metabolismo, siendo la síntesis de proteínas y la replicación del ADN ejemplos de estas.

Algunas rutas metabólicas son cíclicas, otras son lineales y hasta las hay ramificadas. Siendo las vías catabólicas las encargadas de degradar macromoléculas y las anabólicas se ocupan de la construcción de moléculas complejas necesarias para la célula, por lo tanto, ambos procesos son complementarios. (Fig. 3.3.)



**Fig. 3.3.** Las rutas catabólicas degradan macromolécula hacia la formación de moléculas más sencillas y las anabólicas se encargan de formar macromoléculas. Tomado de Nelson y Cox 2001.

Finalmente los procesos metabólicos se llevan a cabo de manera continua por todo el organismo y deben de regularse de manera precisa para que se mantenga la homeostasis, es decir, el estado de equilibrio interno. Cuando se ha formado la cantidad suficiente de un

producto celular, la síntesis de este se detiene o disminuye y cuando una sustancia comienza a escasear los procesos metabólicos de biosíntesis se activan. Estos mecanismos homeostáticos son el sistema de control y regulación del metabolismo y son sumamente sensibles y eficientes, por esta razón ayudan a mantener y conservar la vida de los organismos.

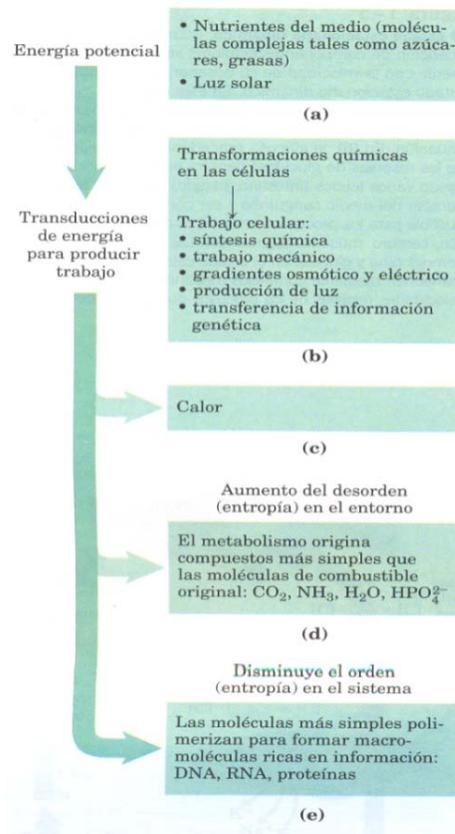
### Bioenergética

El cuerpo de todo ser vivo está compuesto por materia, que es fácil de percibir y concebir, debido a las propiedades que presenta, como poseer masa, densidad y ocupar un lugar en el espacio, pero este cuerpo para funcionar necesita energía que es un poco más difícil de concebir, debido a que no tiene masa ni ocupa un lugar en el espacio. La energía es susceptible de ser medida por los efectos que produce sobre la materia y se define como la capacidad para efectuar trabajo. El trabajo puede considerarse como todo proceso que necesita energía, capaz de producir cualquier cambio o alteración en el estado o el movimiento de la materia.

La capacidad de aprovechar la energía y canalizarla en trabajo biológico es una propiedad fundamental de todos los sistemas vivos. Los organismos realizan una notable variedad de transformaciones de energía, es decir, realizan conversiones de una energía en otra, ya que utilizan la energía química de los alimentos para conseguir la síntesis de macromoléculas complejas, a partir de precursores sencillos.

También convierten la energía química de los alimentos en gradientes de concentración y eléctricos, así como, en

movimiento, calor e incluso, en algunos organismos como las luciérnagas y algunos peces que habitan en las profundidades oceánicas, en luz. Los organismos fotosintéticos transforman la energía luminosa en otras formas de energía. La ciencia que se encarga de estudiar todas las modificaciones e intercambios de energía que realizan los seres vivos es la **bioenergética**. (Fig. 3.4.)



**Fig. 3.4. La Bioenergética es la encargada de estudiar las transformaciones energéticas que realizan los seres vivos. Tomado de Nelson y Cox 2001.**

Para la bioenergética la energía se presenta en dos formas: la **potencial** y la **cinética**. La primera es la que se encuentra almacenada o está inactiva, pero tiene la capacidad para realizar

trabajo, algunos tipos de energía potencial son: la química, eléctrica o atómica.

La energía cinética es la energía en acción, es la utilizada durante la realización de un trabajo y se manifiesta como movimiento, luz, calor, etc.

Sin excepción todos los organismos necesitan energía para vivir, porque todos los procesos biológicos implican la realización de trabajo. Tanto los organismos como las células dependen de la obtención, liberación y uso de la energía. Los sistemas vivos están sumamente organizados y para conservar este orden, necesitan un aporte continuo de alimento energético, ya que funcionan como sistemas abiertos. Cuando una célula u organismo deja de obtener, liberar, utilizar energía, y no puede realizar trabajo, se desorganiza y muere.

Los sistemas vivos poseen un alto grado de complejidad y organización química, en donde millones de moléculas construyen las estructuras celulares, que interactúan y hacen funcionar los procesos metabólicos, para mantener y conservar este orden, los seres vivos requieren de energía para realizar trabajo y así poder mantenerse vivos y reproducirse.

La fabricación constante de componentes celulares requiere trabajo químico, la acumulación y retención de sales y diversos componentes en contra de un gradiente de concentración implica la realización de trabajo osmótico, la contracción muscular o el movimiento de cilios y flagelos en organismos unicelulares y pluricelulares implica la realización de trabajo mecánico.

## **Los Sistemas Vivos y Las Leyes de la Termodinámica**

Los organismos vivos no tienen la capacidad de crear ni de destruir la energía, por lo que deben capturarla del ambiente para utilizarla en la generación de trabajo biológico, un proceso que implica la transformación de energía de una forma a otra, por ejemplo, durante la fotosíntesis las plantas absorben energía luminosa y la transforman en energía química, que esta contenida en los enlaces de las moléculas de carbohidratos.

Una porción de esta energía química es convertida por la misma planta, en diversos tipos de trabajo celular o por un animal que ingiera la planta y la transforme en energía mecánica, en la contracción muscular o en alguna otra forma que el animal necesite.

Los seres vivos cumplen perfectamente con la **primera ley de la termodinámica** o también llamada **principio de conservación**, que establece que la energía no puede ser creada ni destruida, en otras palabras, la energía total del universo permanece constante a través del tiempo y sólo puede ser transformada.

Una característica propia de la vida es que los organismos tienden a mantener y producir orden en sus estructuras y funciones, aparentemente en contradicción a la **segunda ley de la termodinámica o de la entropía**, que se refiere a que algo de la energía disponible para realizar un trabajo, se pierde en forma de calor y esto sucede en cada transformación de la energía, es decir, que no es cien por ciento eficiente.

La energía recibida como alimento por parte de los organismos, no puede ser utilizada al cien por ciento de eficiencia respecto al trabajo que realizan, ya que en cada transformación energética hay una reducción de la energía utilizable del sistema, liberada al ambiente en forma de calor, que posteriormente pasa al cosmos, aumentando la entropía universal.

## Respiración Celular

Todos los seres vivos deben extraer energía de las moléculas orgánicas de los alimentos, ya sea que él mismo las elabore a través de la fotosíntesis o las tome del ambiente, por ejemplo, cuando se ingiere una manzana, con el proceso de masticación se tritura y con la ayuda de las enzimas digestivas presentes en la saliva, se va degradando hasta formar una masa llamada bolo alimenticio, que es transportado por todo el tracto digestivo, donde se continúa la digestión de los alimentos, las proteínas son degradadas a aminoácidos, los carbohidratos son convertidos a azúcares más simples y las grasas se descomponen en glicerol y ácidos grasos.

Los nutrimentos son transferidos al torrente sanguíneo y transportados a cada una de las células que integran el cuerpo, para que conviertan la energía de los enlaces químicos de estos, en energía en forma de ATP por el proceso denominado **respiración celular**.

La respiración celular es un mecanismo íntimamente ligado al fenómeno vital, dicho de otra manera, no existe en la faz de la Tierra un organismo viviente que no realice la respiración, ya que es un proceso biológico que implica una serie

de reacciones bioquímicas, que se encargan de desdoblar las moléculas alimenticias, con el propósito de obtener energía.

Parte de la energía liberada por este proceso es transferida a moléculas de ATP, que la almacenan y la ponen a disposición de las necesidades de la célula, el resto de la energía se disipa al ambiente en forma de calor, que se libera conforme se producen las reacciones químicas, de esta forma, se evita la liberación masiva de calor y energía, reduciendo al mínimo el desperdicio y haciendo más eficiente el mecanismo respiratorio.

## La Respiración y las Reacciones Redox

La respiración degrada las moléculas alimenticias por reacciones de oxidación, proceso mediante el cual se añade oxígeno a una molécula, pero no siempre es necesaria la participación del oxígeno para que se realice una reacción oxidativa, también puede ocurrir cuando una molécula pierde hidrógenos o electrones.

Las reacciones **redox** (oxido-reducción), se realizan en forma simultánea, dado que una sustancia debe aceptar los electrones que provienen de otra. La oxidación es un proceso químico en que una sustancia cede (pierde) electrones, mientras que en la reducción la otra sustancia recibe (gana) los electrones.

La sustancia que se oxida cede energía al liberar electrones y la que se reduce recibe energía al ganarlos.

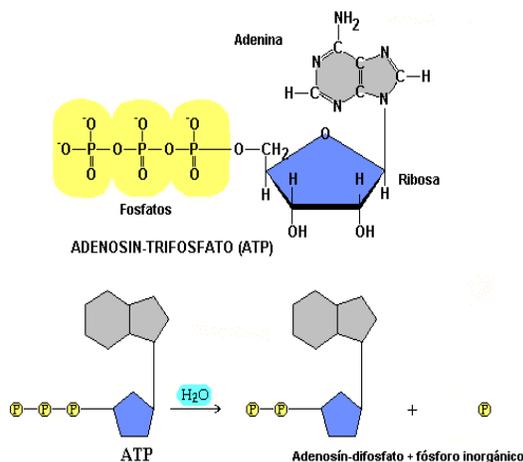
## La Oxidación de los Carbohidratos

Los lípidos, las proteínas y sobretodo los carbohidratos son la fuente de energía de los sistemas vivos. Durante la respiración celular la oxidación de los carbohidratos se debe a la pérdida de hidrógenos, los cuales son liberados por los carbohidratos y aceptados por los átomos de oxígeno para formar moléculas de agua, y como consecuencia los carbohidratos al perder sus hidrógenos producen moléculas de bióxido de carbono. La característica más importante de este sistema redox es que cuando un electrón o un átomo de hidrógeno pasan de un sistema reductor a uno oxidante, se libera energía.

### El Adenosin Trifosfato o ATP

La oxidación de moléculas nutritivas produce energía, que es atrapada y almacenada en forma de un compuesto fosfatado de alta energía llamado **adenosin trifosfato o ATP**, cuya función es almacenar energía útil para realizar trabajo biológico, que se encuentre disponible para el momento en que la célula lo requiera.

La molécula de ATP está constituida por la unión de una base nitrogenada llamada adenina, una ribosa (azúcar-pentosa), y tres grupos fosfato. El enlace que se ubica entre el segundo y tercer grupo fosfato, es llamado **enlace de alta energía**, debido a que cuando se rompe, libera una gran cantidad de energía, convirtiéndose en una molécula de **ADP** (adenosin difosfato) y un **P<sub>i</sub>** (fosforo inorgánico), esta reacción es reversible ya que tiene la capacidad de recuperar el fosforo perdido y volver a convertirse en ATP. (Fig. 3.5.)



**Fig. 3.5. La molécula de adenosin trifosfato o ATP tiene la capacidad de almacenar energía química útil para la célula, al perder un grupo fosfato libera energía que es utilizada en el trabajo biológico. Tomado de [web.educastur.princast.es/.../INDICE.htm](http://web.educastur.princast.es/.../INDICE.htm)**

### Respiración Aerobia y Anaerobia

La respiración celular es un proceso que involucra una serie de reacciones bioquímicas en cadena, catalizadas por enzimas para degradar alimentos, principalmente glucosa, con el propósito de obtener energía en forma de ATP. La respiración celular puede ser **aerobia** o **anaerobia**. La respiración aerobia necesita la participación del oxígeno para que se pueda realizar, en tanto, la anaerobia no.

La respiración aerobia es la más común y la realizan tanto organismos unicelulares como pluricelulares, los organismos que están formados por células procariotas la hacen en el citoplasma y en la membrana celular, las eucariotas realizan la primera etapa en el citoplasma y el resto de la vía aerobia la llevan a cabo en un organelo especializado, llamado **mitocondria**.

## Las Mitocondrias

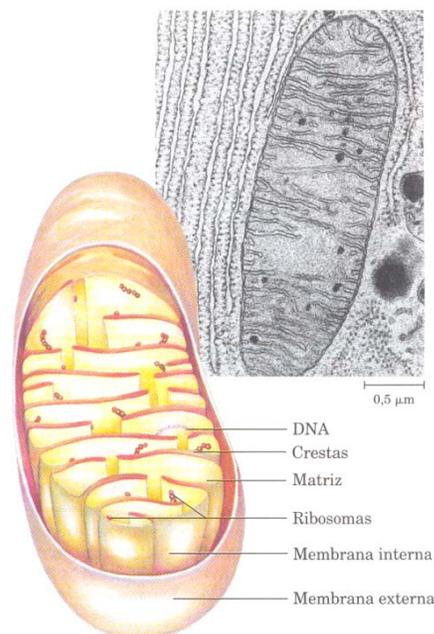
Las mitocondrias son organelos celulares de forma cilíndrica y alargada, muy dinámicos ya que pueden desplazarse por todo el citoplasma y son capaces de modificar su conformación característica. Estos organelos presentan un tamaño variable que va de 1 a 8  $\mu\text{m}$  (micrómetros =  $10^{-6}$  m) de longitud y de 0.2 a 1.0  $\mu\text{m}$  de diámetro, el tamaño de las mitocondrias es muy similar al que presentan las bacterias.

El número de mitocondrias presentes en cada célula es variable y va a depender de las necesidades energéticas de estas, por ejemplo cada célula del hígado posee alrededor de 1500 y es mayor el número en células musculares.

Las mitocondrias están formadas por dos membranas: la **externa** y la **interna**. La primera envuelve por completo a este organelo y tiene como función servir de barrera entre el citoplasma y el interior mitocondrial, es lisa y posee gran cantidad de **porinas**, que son proteínas integrales, que dan forma a canales o poros que permiten el libre paso de moléculas del citoplasma al interior de la mitocondria y viceversa, el único obstáculo al tráfico de sustancias es el tamaño de los poros.

La membrana interna es sumamente impermeable y selectiva, por consiguiente casi todas las moléculas que la atraviesan necesitan transportadores específicos, estos son proteínas que se encuentran formando parte de la misma membrana. La membrana interna se pliega hacia el interior de la matriz, formando pliegues que se conocen como crestas mitocondriales, las cuales aumentan la superficie membranosa, para que en

ellas se realicen las reacciones bioquímicas de la transformación de la energía en ATP.



**Fig. 3.6. Las mitocondrias son los sitios especializados de las células que realizan la fase aerobia de la respiración celular. Están delimitadas por dos membranas: la interna y la externa y conformadas por dos compartimientos; el espacio intermembrana y la matriz. Tomado de Nelson y Cox 2001.**

Las mitocondrias presentan dos compartimientos que son: el **espacio intermembrana** y la **matriz mitocondrial**. El primero se localiza entre el citoplasma y la matriz y esta delimitado por la membrana externa e interna. Hacia el centro de la mitocondria encontramos a la matriz mitocondrial que esta rodeada por la membrana interna y tiene una consistencia coloidal semejante a un gel, esto es debido a que posee una concentración alta de proteínas hidrosolubles, además de tener todas las

enzimas necesarias para realizar el ciclo del ácido cítrico. (Fig. 3.6.)

## La Respiración Aerobia

La respiración aerobia es un proceso biológico que involucra 4 etapas que son: I) Glucólisis, II) Formación de acetil-coenzima A, III) El ciclo del ácido cítrico y IV) La cadena de transporte de electrones y la quimiósmosis. La degradación de una molécula de glucosa hasta bióxido de carbono y agua, a través de la respiración aerobia, da como resultado la obtención de 36 a 38 moléculas de ATP, cantidad muy superior a las generadas por la vía anaerobia que es de sólo dos ATP.

### I. Glucólisis

Glucólisis deriva de las palabras griegas *glycus* que significa dulce o azúcar y *lysis* que significa romper, por tal motivo el significado literal es romper azúcar. Es la primera etapa de la respiración aerobia y se realiza en el citoplasma, en la cual la glucosa, molécula de seis carbonos es degradada a través de una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente, en dos moléculas con tres carbonos cada una llamadas piruvato, la energía liberada por este proceso es atrapada por las moléculas de ATP y NADH (Dinucleótido de Adenosina Nicotinamida reducido).

**Nota:** La fórmula correcta de representar el NAD<sup>+</sup> reducido es **NADH + H<sup>+</sup>**, pero por tradición y para hacer más sencilla la representación la escribimos así NADH.

Según Nelson y Cox, 2001, la glucólisis se realiza en diez reacciones, que las agrupan en dos fases, la primera

denominada **fase preparatoria** y la segunda **fase de beneficio**.

### Fase preparatoria

Abarca las cinco primeras reacciones de la glucólisis:

- **Reacción 1**, la glucosa es fosforilada en el carbono número 6, por la enzima *hexoquinasa*, esta reacción necesita consumir una molécula de ATP, para finalmente formar glucosa 6 fosfato. La glucosa es una molécula relativamente estable y de difícil fragmentación, por esta razón es necesario fosforilarla, para que se pueda romper.
- **Reacción 2**, la glucosa 6 fosfato es isomerizada por la enzima *fosfohexosa isomerasa* en fructosa 6-fosfato.
- **Reacción 3**, la fructosa 6-fosfato es nuevamente fosforilada, pero ahora en el carbono número uno por la enzima *fosfofructoquinasa-1*, para convertirla en fructosa 1,6-bifosfato, durante esta reacción se consume la segunda molécula de ATP.
- **Reacción 4**, es donde se realiza la rotura de la molécula y da significado a toda la glucólisis, la fructosa 1,6-bifosfato se parte en dos moléculas con tres carbonos cada una, el gliceraldehído 3-fosfato y la dihidroxiacetona 1-fosfato, esta reacción es catalizada por la enzima *aldosa*.
- **Reacción 5**, la dihidroxiacetona 1-fosfato es isomerizada a gliceraldehído 3-fosfato por la enzima *triosa fosfato isomerasa*, con esta reacción se han formado dos moléculas de gliceraldehído 3-fosfato. Como se puede observar en la fase preparatoria la célula ha

invertido dos moléculas de ATP, necesarias para activar todo el proceso, es por esta razón que Solomon et al han llamado a esta fase de inversión energética.

### Fase de beneficio

Esta consta de las cinco restantes reacciones:

- **Reacción 6**, cada gliceraldehído 3-fosfato es deshidrogenado en el carbón número tres, por la enzima *gliceraldehído 3-fosfato deshidrogenasa*, la molécula de hidrógeno liberada es transferida a la molécula de  $\text{NAD}^+$  para formar NADH, además se adiciona al carbono tres un fosforo para convertirse en dos moléculas de 1,3 bifosfoglicerato, como puede observarse el fósforo en esta ocasión no proviene del ATP, sino de fósforo inorgánico que se encuentra disuelto en el citoplasma.
- **Reacción 7**, cada molécula de 1,3 bifosfoglicerato, pierde el fósforo presente en el carbón número uno, por acción de la enzima *fosfoglicerato quinasa*, para transformarse en 3-fosfoglicerato, el fósforo liberado durante esta reacción es capturado por la molécula de ADP para formar ATP, de esta manera es la primera vez que se genera energía en forma de ATP.
- **Reacción 8**, la enzima *fosfoglicerato mutasa* transfiere el fósforo presente en el tercer carbón, de cada uno de los dos 3-fosfoglicerato al carbono número dos de la misma molécula, para transformarlas en 2-fosfoglicerato.
- **Reacción 9**, las dos moléculas de 2-fosfoglicerato pierden agua por

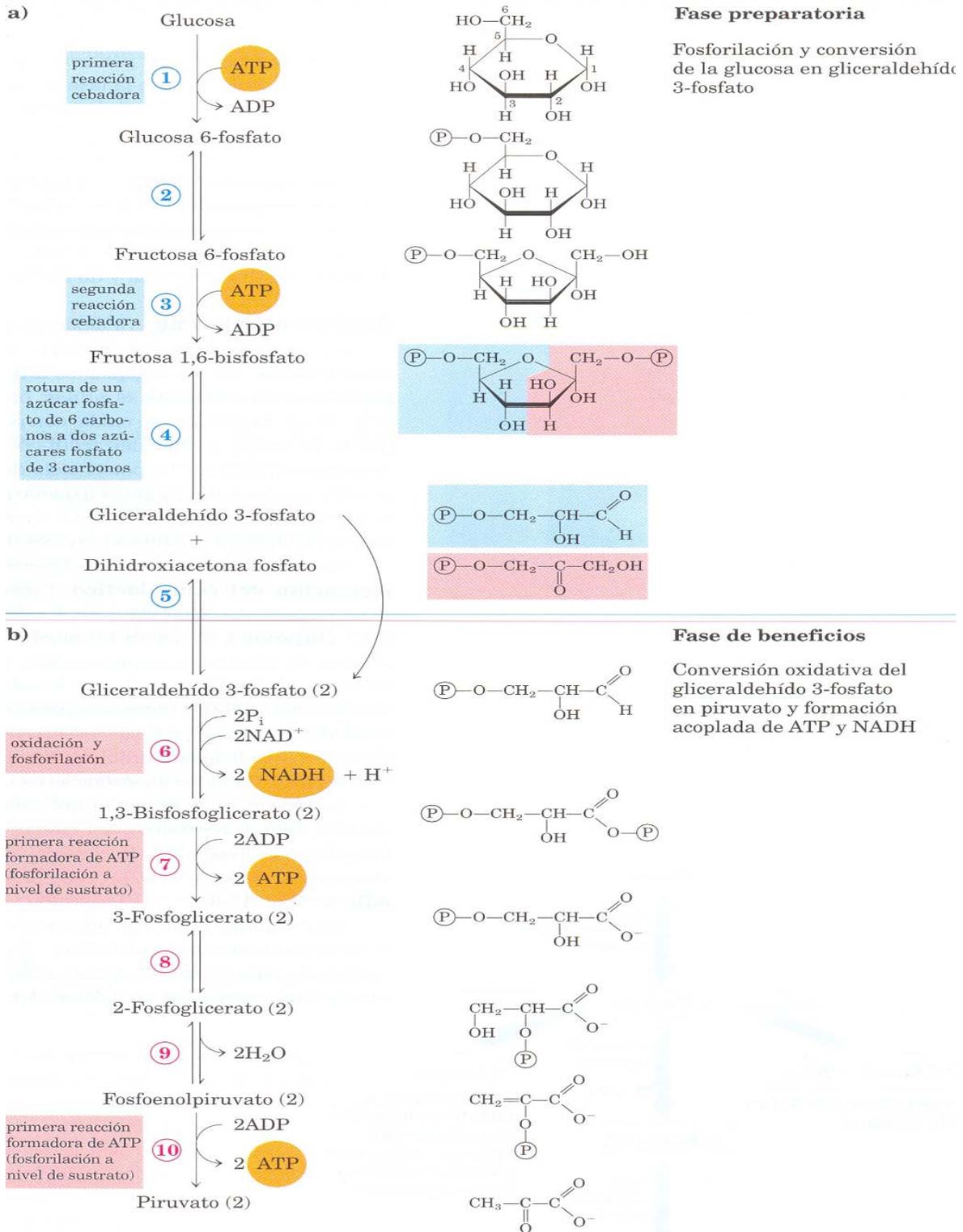
acción de la enzima *enolasa* y se convierten en dos moléculas de fosfoenolpiruvato.

- **Reacción 10**, las dos moléculas de fosfoenolpiruvato liberan un fósforo cada una, para formar dos moléculas de piruvato, el fósforo liberado es transferido a moléculas de ADP para formar dos moléculas de ATP, la enzima responsable de realizar esta reacción es la *piruvato quinasa*. (Fig. 3.7.)

Cada molécula de glucosa que es desdoblada por el proceso de glucólisis, da como productos finales la formación de dos moléculas de piruvato, dos NADH y dos ATP. Las dos moléculas de piruvato pasarán a la siguiente etapa.

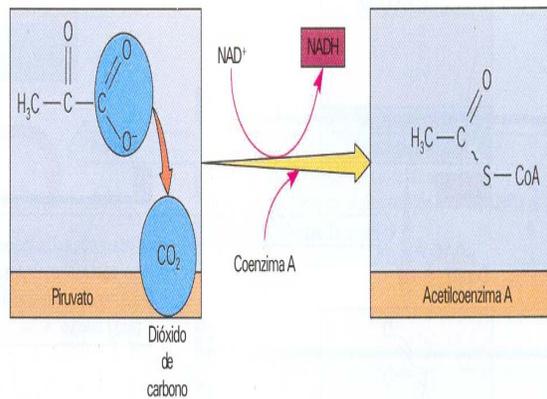
## II. Transformación del piruvato en acetil-coenzima A

En las células eucariotas las moléculas de piruvato, generadas durante la glucólisis en el citoplasma, son transportadas hacia la matriz mitocondrial, ahí los piruvatos que poseen tres carbonos cada uno, pierden un carbono, que es liberado en forma de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), para transformarse en moléculas con tan sólo dos carbonos llamadas acetil que se une la coenzima A para formar el compuesto acetil-coenzima A.



**Fig. 3.7.** La glucólisis es el mecanismo catabólico por el cual se degrada la molécula de glucosa para obtener dos piruvatos, dos NADH y dos moléculas de ATP. Para poder comprender mejor este proceso se divide en dos etapas: la preparatoria y la de beneficio. Tomado de Nelson y Cox 2001.

Tanto la descarboxilación como la formación de acetil-coenzima A, son catalizadas por el complejo enzimático llamado *piruvato deshidrogenasa*. Durante el proceso de formación de acetil-coenzima A, son liberados hidrógenos que son capturados por moléculas de  $\text{NAD}^+$  para formar dos moléculas de NADH. (Fig. 3.8.)



**Fig. 3.8. Formación de la molécula de acetil-coenzima A, a partir del piruvato. Tomado de Solomon 2001.**

### III. Ciclo del ácido cítrico.

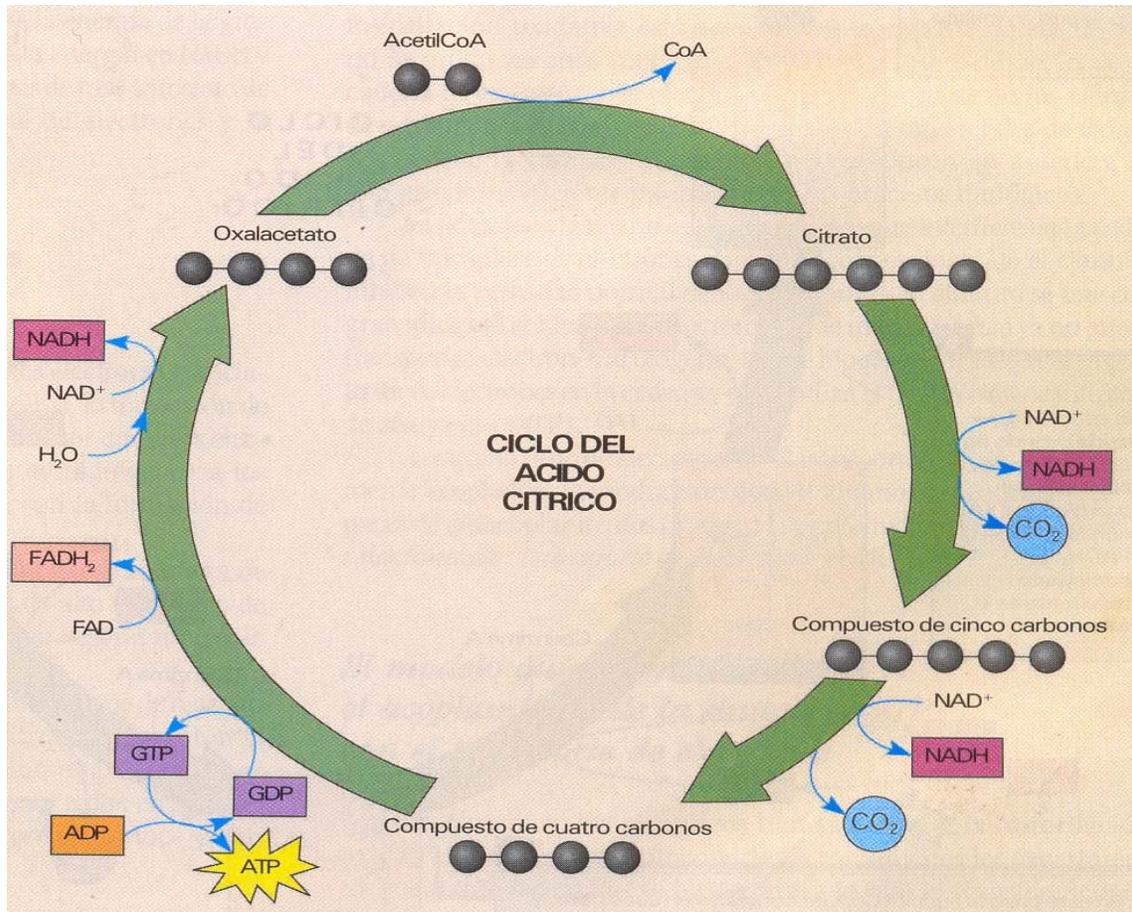
El ciclo del ácido cítrico también llamado ciclo de los ácidos tricarbónicos o ciclo de Krebs, se lleva a cabo en la matriz mitocondrial. El acetil-coenzima A transfiere su grupo acetil a la molécula de oxalacetato que posee cuatro carbonos, para formar una molécula de seis carbonos llamada citrato. Durante las siguientes ocho reacciones que ocurren en el ciclo, el citrato pierde primero un carbono y posteriormente otro, para liberar dos moléculas de bióxido de carbono, para restablecer nuevamente el oxalacetato y empezar otra vez el ciclo. (Fig. 3.10.)

**Sabías que:** el nombre de ciclo de Krebs es en honor de **Sir Hans Krebs** que descubrió dicho mecanismo biológico, y que durante la década de los años treinta del siglo XX, envió un artículo a la revista *Nature*, donde explicaba el ciclo del ácido cítrico, pero paradójicamente, le fue rechazado argumentando que carecía de interés. Después de 70 años se sigue estudiando este ya que es de interés comprender este proceso. (Fig. 3.9.)



**Fig. 3.9. Sir Hans Krebs en 1938 descubre el ciclo del ácido cítrico. Tomado de Nelson y Cox 2001.**

Por cada vuelta que da el ciclo del ácido cítrico se obtienen una molécula de ATP, tres de NADH y una de  $\text{FADH}_2$  (Dinucleótido de Adenina Flavina reducido). Debido a que se producen dos moléculas de acetil-coenzima A por molécula de glucosa, el ciclo del ácido cítrico se realiza dos veces, por lo tanto los productos finales son dos moléculas de ATP, seis de NADH y dos de  $\text{FADH}_2$ .



**Fig. 3.10.** Durante el desarrollo del ciclo del ácido cítrico se van a perder los dos carbonos en forma de CO<sub>2</sub> que restan de la molécula del ácido pirúvico con la ganancia de una molécula de ATP, tres de NADH y un FADH<sub>2</sub> por cada vuelta. Tomado de Solomon 2001.

Hasta este momento se han liberado dos moléculas de bióxido de carbono en el proceso de formación de acetil-coenzima A y cuatro durante el ciclo del ácido cítrico, por tal motivo se considera que la glucosa se ha desintegrado por completo. Como resultado se formaron dos moléculas de NADH durante la glucólisis, dos más durante la transformación del acetil-coenzima A y seis por el ciclo de los ácidos tricarbónicos, para dar un total de diez NADH y dos FADH<sub>2</sub>. En cuanto a moléculas energéticas de ATP se formaron dos durante la glucólisis y dos en el ciclo de Krebs, para sumar cuatro

moléculas de ATP, cantidad muy pobre aun, pero hace falta oxidar las moléculas de NADH y FADH<sub>2</sub> en la siguiente etapa.

#### IV. Cadena de transporte de electrones y quimiósmosis.

Las moléculas reducidas hasta este momento son diez NADH y dos FADH<sub>2</sub>, todas estas moléculas pasarán a través de la cadena de transporte de electrones y la quimiósmosis para ser oxidadas con el propósito de obtener energía.

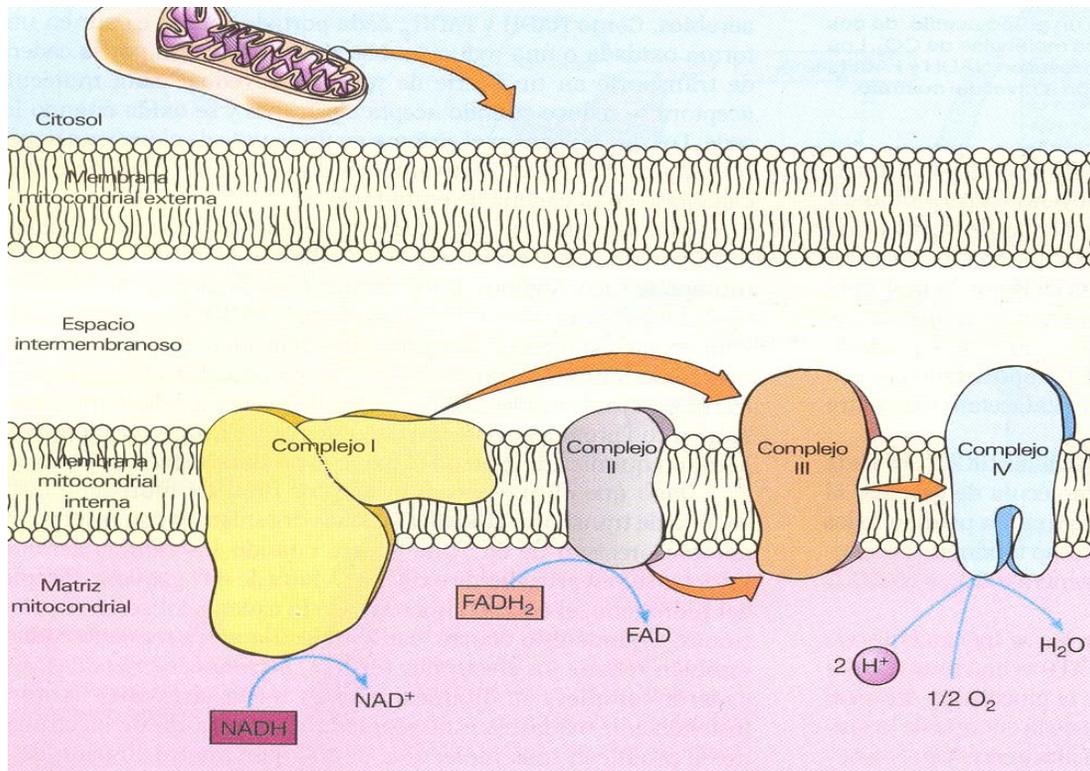


Fig. 3.11. La cadena de transporte de electrones esta compuesta por cuatro complejos enzimáticos, que se encargan de llevar a cabo una serie de reacciones redox a partir de los hidrógenos que son liberados por las moléculas de NADH y FADH<sub>2</sub> para formar agua. Tomado de Solomon 2001.

### La cadena de transporte de electrones

La cadena de transporte de electrones también llamada cadena respiratoria, esta compuesta por **cuatro complejos enzimáticos** o **grupos aceptores**, que se encuentran embebidos en la bicapa fosfolipídica de la membrana interna de la mitocondria. Estos complejos proteicos están formados por moléculas que tienen la cualidad de oxidarse o de reducirse, dicho de otro modo tienen la capacidad de donar o aceptar electrones. Existen cuatro diferentes complejos enzimáticos que son indicados con números romanos del I al IV y están compuestos por flavoproteínas,

citocromos, ubiquinonas y proteínas con hierro y azufre. (Fig. 3.11.)

La cadena de transporte de electrones funciona con la acción reductora de los átomos de hidrógeno, donados por las moléculas de NADH y FADH<sub>2</sub>, la importancia se centra en que los hidrógenos pueden dissociarse en un protón con carga positiva (+) y un electrón con carga negativa (-), cada uno sigue rutas diferentes. Los electrones donados por el NADH son capturados por el complejo I para ser reducido y después oxidarse al liberarlos a la bicapa lipídica de la membrana interna, donde son encapsulados por la ubiquinona para ser

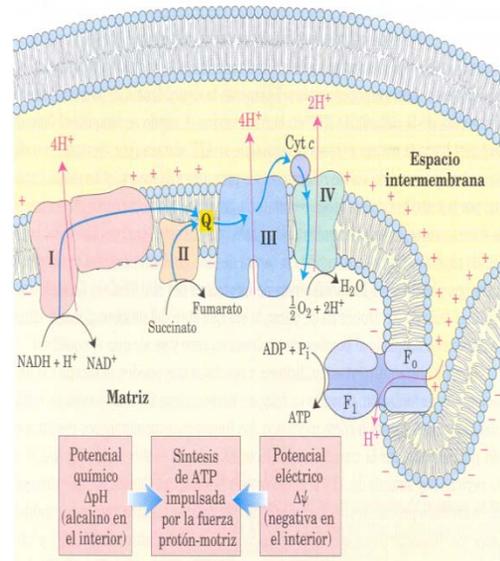
transportados al complejo III, donde ocurren reacciones de oxido-reducción, pero ahora los electrones son capturados por el citocromo C, por fuera de la membrana, para ser transferidos al complejo IV, donde finalmente son liberados y ligados al oxígeno, para formar **moléculas de agua**. En el caso del  $\text{FADH}_2$ , los electrones son capturados directamente por el complejo II, hasta terminar las reacciones redox de la cadena respiratoria.

Conforme se desarrolla la cadena de transporte de electrones se libera energía en forma de protones (+), que son transportados desde la matriz mitocondrial hasta el espacio intermembrana, por los complejos I, II y III. Este desplazamiento de protones permite que aumente la cantidad de cargas positivas (+) en el espacio intermembrana y por consiguiente el ambiente de la matriz se cargue negativamente (-).

Estos eventos hacen que el espacio intermembrana se transforme en un medio más ácido y el de la matriz mitocondrial sea cada vez más alcalino creando un **potencial químico**.

De la diferencia de cargas positivas (+) entre el espacio intermembrana y la matriz se crea el **potencial eléctrico**, que genera energía cinética, esta energía impulsa a los protones (+) a regresar a la matriz a través del complejo enzimático **ATP sintetasa**, que se encuentra embebido en la membrana interna, conforme van pasando los protones (+) hacia la matriz, se va liberando energía que permite fosforilar moléculas de  $\text{ADP} + \text{P}_i$  (fósforo inorgánico), para formar moléculas de

ATP, este proceso es nombrado **quimiósmosis**. (Fig. 3.12.)



**Fig. 3.12. La quimiósmosis genera moléculas de ATP a través de la corriente de protones (+), que pasan del espacio intermembrana a la matriz por el complejo sintetasa de ATP. Tomado de Nelson y Cox 2001.**

La cadena de transporte de electrones y la quimiósmosis son procesos complementarios, donde juega un papel crucial los componentes moleculares de la membrana interna de la mitocondria. Por cada molécula de  $\text{NADH}$  que participa en la cadena respiratoria y la quimiósmosis se producen tres moléculas de ATP y por cada  $\text{FADH}_2$ , sólo dos ATP. Sumando las moléculas de ATP que se ganan en la degradación completa por la respiración aerobia de una molécula de glucosa, se obtienen entre **36 a 38 moléculas de ATP**.

## La Respiración Anaerobia.

La respiración anaerobia es la vía catabólica para obtener energía, en la que **no** se requiere la participación de molécula de oxígeno ( $\text{O}_2$ ), como aceptor final de electrones. Existen básicamente

dos tipos de organismos que realizan este tipo de respiración: los **anaerobios estrictos** y los **facultativos**.

- Los organismos anaerobios estrictos no pueden tolerar la presencia de oxígeno molecular libre (O<sub>2</sub>), ya que este es letal para ellos.
- Los anaerobios facultativos pueden tolerar la presencia de oxígeno libre, esta tolerancia es variable y va a depender de las adaptaciones que presenten los organismos a la presencia de dicha molécula.

Los organismos anaerobios viven en lugares donde el oxígeno difícilmente puede llegar, por ejemplo en pantanosos, en las grandes profundidades oceánicas o en los intestinos de los animales.

**Sabías que:** Las células del cerebro requieren un aporte continuo de oxígeno, no pueden carecer de esta molécula por más de dos minutos, de lo contrario mueren.

## La fermentación

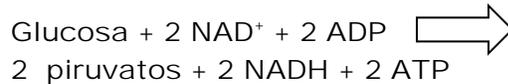
La fermentación es el tipo de respiración anaerobia más común. Comparada con la respiración aerobia, la anaerobia es más sencilla y menos complicada, ya que sólo requiere que se forme ácido pirúvico, por la vía glucolítica y que éste se transforme en ácido láctico o en alcohol. Todo el proceso anaerobio se realiza en el citoplasma.

## Glucólisis

Como ya se revisó, la glucólisis es un proceso catabólico en el cual se degrada la molécula de glucosa a través de una secuencia de diez reacciones

bioquímicas, catalizadas por enzimas específicas, que dan como producto la formación de dos moléculas de ácido pirúvico, dos moléculas de NADH y dos de ATP.

Formula general de la glucólisis:



Pero la fermentación aun no termina, las moléculas de NADH tienen que oxidarse, para regenerar moléculas de NAD<sup>+</sup>, necesarias para que las células puedan seguir realizando la glucólisis, de lo contrario el NAD<sup>+</sup>, que es muy escaso, se agotaría y no permitiría seguir generando más energía por la vía glucolítica.

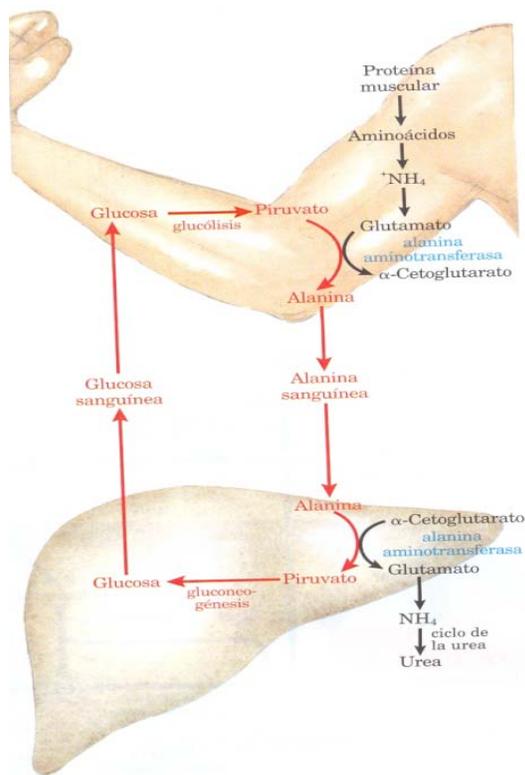
## La fermentación láctica

El producto final de la fermentación difiere dependiendo del tipo de célula o microorganismo. Algunos hongos y bacterias (por ejemplo *Lactobacillus*, *Streptococcus*, etc.) realizan la fermentación láctica, en la cual el NADH producido durante la glucólisis, traspasa sus hidrógenos al piruvato para transformarlo en lactato o ácido láctico que es excretado al ambiente como productos metabólicos de desecho. Este proceso es aprovechado por la industria láctica para agriar la leche en la producción de yogur y para dar sabor a algunos quesos.

Las células de las fibras musculares de la especie humana y de otros animales, se comportan como aerobias facultativas, ya que no pueden mantener la respiración aerobia por largos periodos de actividad muscular intensa, entonces al no recibir la cantidad suficiente de oxígeno, se ven obligadas

a recurrir a la fermentación láctica, para cubrir la demanda de energía.

Una vez producido el ácido láctico se excreta al medio, en este caso se va elevando la concentración en el tejido muscular, provocando dolor, calambres y fatiga, hasta que la mayor parte del lactato sea enviado al hígado, para ser utilizado en la síntesis de glucosa. Y finalmente se restablezca la respiración aerobia (Fig. 3.13.).



**Fig. 3.13.** Durante el ejercicio excesivo la respiración anaerobia produce ácido láctico que se acumula en el tejido y provoca dolor y calambres. Tomado de Nelson y Cox 2001.

**¿Por qué después de una jornada de ejercicio intenso nos duelen los músculos?**

Cuando se agota la cantidad de oxígeno en el tejido muscular, ciertas células, para producir energía realizan la fermentación láctica, el producto de desecho es ácido láctico que se acumula en el tejido muscular, que baja el pH de 7.0 a 6.35, haciendo el ambiente más ácido, este cambio de pH es el responsable de los dolores y calambres musculares, además el agotamiento de las reservas de glucosa, tal vez explique la sensación de fatiga. Pero no sólo la especie humana experimenta este fenómeno, también lo hacen los animales grandes como los caimanes, cocodrilos, elefantes y ballenas, cuando realizan movimientos bruscos y veloces, ya sea para cazar o en condiciones de peligro.

**La fermentación alcohólica**

La fermentación alcohólica es la vía anaerobia que utilizan algunos organismos para obtener energía. El piruvato (que posee tres carbonos) que se generó por la glucólisis, pierde un carbón, por la acción de la enzima *piruvato deshidrogenasa* y es liberado al ambiente en forma de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para formar acetaldehído (con dos carbonos). Los NADH se oxidan al liberar sus hidrógenos, para reducir a la molécula de acetaldehído para convertirla en alcohol etílico.

Las levaduras son hongos unicelulares eucariotas, que poseen mitocondrias para realizar la respiración aerobia, pero cuando en el ambiente el oxígeno molecular es escaso, estos organismos tienen la opción de utilizar la vía anaerobia. El alcohol producido por este proceso catabólico es excretado al ambiente en el que viven. Este producto es tóxico y cuando llega a cierto nivel mata a las levaduras, es esta la razón por la que los vinos de mesa, la cerveza y todas aquellas bebidas alcohólicas

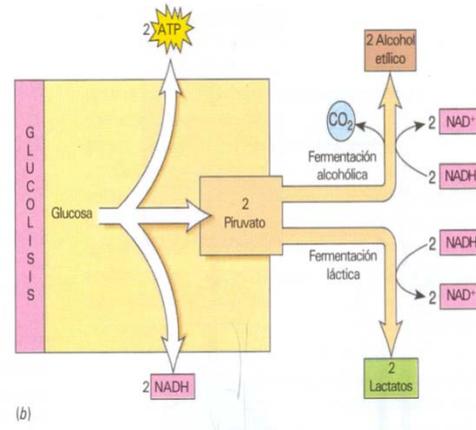
fermentadas contienen bajo nivel de alcohol, comparadas con las que son producidas por el proceso de destilación. La fermentación alcohólica es también utilizada en el proceso de panificación.

Aparentemente la fermentación comparada con la respiración aerobia es muy ineficiente, debido a que de las 686 kilocalorías que se pueden obtener de la degradación completa de un mol de glucosa, únicamente se generan 57 durante la producción de alcohol, estas moléculas conservan la mayor parte de la energía, de tal suerte que el alcohol se puede quemar e incluso puede ser utilizado como combustible de automóviles.

De la fermentación láctica sólo se obtienen 47 kilocalorías, a pesar de que en la fermentación sólo se libera el diez por ciento de la energía contenida en la glucosa y que sólo se obtienen dos moléculas de ATP, la fermentación es una vía catabólica que logra producir suficiente energía para mantener vivo al organismo que la utiliza (Fig. 3.14.).

**Podemos concluir que:** La respiración celular es un proceso catabólico, en el cual se desarrollan un conjunto de reacciones bioquímicas, con el propósito de desdoblar moléculas alimenticias para generar energía en forma de ATP.

Existen dos tipos de respiración celular: la aerobia y la anaerobia, la primera requiere la participación del oxígeno molecular como aceptor final de electrones, esta vía se lleva a cabo en cuatro etapas que son:



**Fig. 3.14. La fermentación es un tipo de respiración anaerobia. Existen dos vías de fermentación la láctica y la alcohólica. Tomado de Solomon 2001.**

**Sabias que:** el complejo enzimático ATP sintetasa está presente tanto en las membranas de las mitocondrias como de los cloroplastos y participa en ambos en la síntesis de ATP, siendo vías metabólicas opuestas.

1. Glucólisis
2. Formación de acetil-coenzima A
3. Ciclo de Krebs
4. La cadena transportadora de electrones y la quimiósmosis.

Los productos finales de la degradación de una molécula de glucosa son: 6 CO<sub>2</sub>, + 12 H<sub>2</sub>O, + 36 a 38 moléculas de ATP por la vía aerobia.

La respiración anaerobia no requiere la participación de oxígeno libre para que se lleve a cabo, es más sencilla que la respiración aerobia y sólo requiere de dos etapas que son: a) la glucólisis y b) la oxidación de las moléculas de NADH, para formar ácido láctico o alcohol etílico, estos dos últimos productos por la vía de la fermentación. La respiración anaerobia obtiene sólo dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa degradada.

## Fotosíntesis

Una de las rutas anaeróbicas más importantes para los sistemas vivos es la fotosíntesis, a través de este proceso los organismos captan la energía lumínica que procede del Sol y la transforman en energía química, que almacenan en moléculas orgánicas reducidas llamadas carbohidratos, dicho de otra manera, gracias a la fotosíntesis se fabrican las moléculas que son la fuente de energía y materia para casi todos los seres vivos.

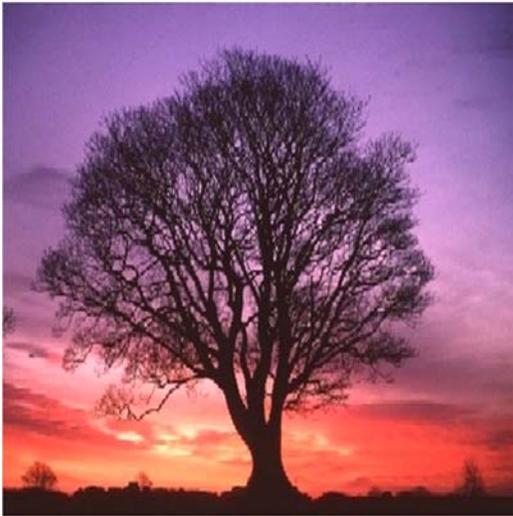


Fig. 3.15. El Sol fuente de energía, con la energía solar los organismos fotosintéticos transforman la materia y la energía necesaria para los sistemas vivos. Tomado de [www.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/images](http://www.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/images)

La palabra fotosíntesis deriva de los vocablos grecolatinos: *fotos*, que significa luz y *synthesis*, hacer, elaborar o fabricar, por lo tanto, fotosíntesis quiere decir “**hacer cosas con la luz**”.

Los organismos que realizan la fotosíntesis son: las plantas, las algas, las cianobacterias y algunos

protozoarios como las euglenas y se conocen como fotosintéticos.

Estos seres vivos tienen la particularidad de fabricar sus propias moléculas alimenticias a partir de materia inorgánica simple, como las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) y de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), más la energía solar, por esta razón son llamados organismos **autótrofos**. (*auto*: por sí mismo y *trophos*: alimento).(Fig.3.15. y 16.)



PLANTA



ALGAS



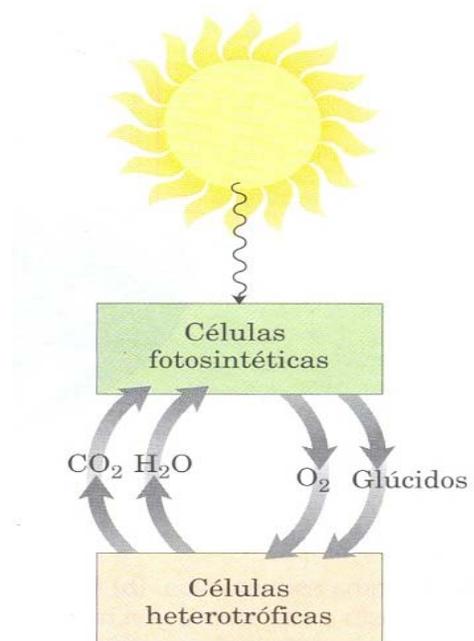
CIANOBACTERIAS

Fig. 3.16. Los organismos autótrofos son: las plantas, las algas y las cianobacterias que realizan la fotosíntesis. Tomado de Solomon 2001.

Se reconocen a los organismos fotosintéticos por el color verde que reflejan sus cuerpos, esto se debe a que tienen **clorofilas**, moléculas responsables de capturar la energía lumínica, pero no son los únicos

pigmentos fotosintéticos que poseen estos seres, también hay **carotenoides** que reflejan el amarillo, el anaranjado o el rojo.

Los organismos que no pueden elaborar sus alimentos se denominan **heterótrofos** (*hetero*: otros y *trophos*: alimento), estos se alimentan de otros organismos y/o de los productos que generan. Los animales, los hongos y la mayoría de los protozoarios y bacterias son heterótrofos.



**Fig. 3.17.** En la biosfera existe un equilibrio metabólico entre organismos heterótrofos y autótrofos. Tomado de Nelson y Cox. 2001.

El origen de los primeros organismos fotosintético se remonta aproximadamente a 3,500 millones de años, como lo hace evidente el registro fósil. Los primeros seres fotosintéticos fueron organismos unicelulares procariotas similares a las actuales cianobacterias. A través de miles de

millones de años, estos seres vivos fueron capaces de transformar la atmósfera reductora en oxidativa, por acumulación de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), por lo tanto, todo el oxígeno que utilizamos los seres vivos aerobios fue y es producido por medio de la fotosíntesis. (Fig.3.17.)

Probablemente, en la actualidad, el organismo fotosintético más abundante en el planeta sea la cianobacteria **Prochlorococcus**, que fue descubierta en 1988 y cuya densidad es de 100 millones de organismos por litro de agua de mar. Concluyendo, sin fotosíntesis no habría oxígeno libre en la Tierra.

### La luz

El Sol es la fuente primordial de energía para los sistemas vivos, después de un recorrido de 150 millones de kilómetros la radiación solar llega a la Tierra.

La radiación solar viaja en forma de ondas, determinadas por el trayecto que siguen los electrones, es importante el tamaño de la longitud de onda debido a que es inversamente proporcional a la cantidad de energía que posee, es decir, entre más pequeña sea la longitud de la onda mayor cantidad de energía contendrá y viceversa, entre más grande sea contendrá menor energía.

El tamaño de la longitud de onda esta determinado por la distancia que existe entre dos crestas o dos valles consecutivos, la radiación solar esta compuesta por una mezcla de energías de diversas longitudes de onda, a la cual se le conoce como **espectro electromagnético**. (Fig. 3.18. y 3.19.)

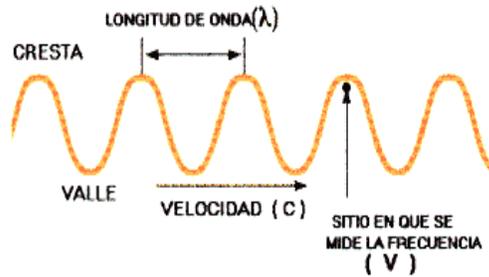


Fig. 3.18. La energía solar viaja en forma de ondas y la longitud de la onda se mide tomando la distancia entre cresta y cresta. Tomado de [www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/](http://www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/)

En un extremo del espectro electromagnético, se encuentran los **rayos de onda corta**, que son los más energéticos, capaces de atravesar y alterar la materia, la longitud de onda que presentan estos es extremadamente pequeña, cuyo rango va de menos de un nanómetro nm a menos de 380 nm, los rayos gamma, X y ultravioleta son ejemplos de rayos de onda corta.

En el extremo opuesto del espectro se ubican los **rayos de onda larga**, cuya longitud de onda es mayor a 760 nm y pueden llegar a medir kilómetros, como las ondas de radio. **La luz visible** se ubica en la franja de los 380 a 760 nm del espectro electromagnético, compuesta por los colores que integran al arco iris, que abarca del violeta al rojo.

**Sabías que:** un **nanómetro** es la milmillonésima parte de un metro.

La luz visible es la única porción de la radiación solar que es captada y transformada por los seres vivos fotosintéticos. La luz no sólo se comporta como ondas, sino que lo hace también como partículas.

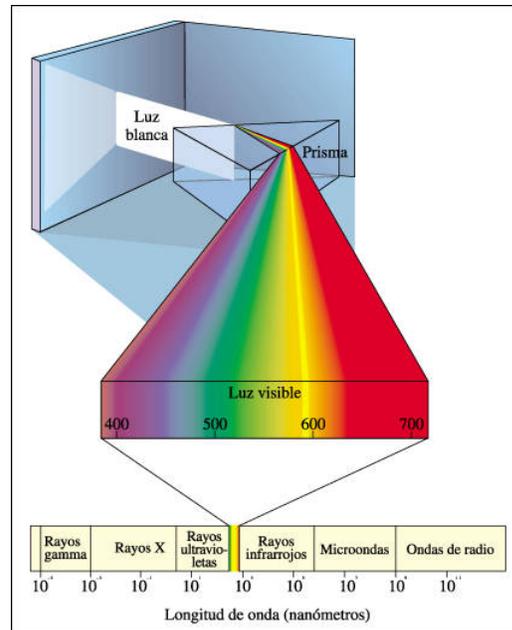


Fig. 3.19. Espectro electromagnético. Los seres fotosintéticos sólo pueden absorber la luz visible del espectro electromagnético. Tomado de [www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm](http://www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm).

La luz se compone de pequeñas partículas o paquetes de energía llamados **fotones**. Un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda, la energía de un fotón es mayor en el extremo violeta del espectro de luz que en el rojo.

### Las clorofilas

Todos los sistemas vivos fotosintéticos tienen la capacidad de absorber y transformar la luz solar, en las células de estos organismos existen diferentes moléculas captadoras de energía lumínica, a las que se les conoce como **pigmentos** debido a que presentan un color determinado y tienen la función de absorber una parte del espectro de la luz visible. Las **clorofilas** son los pigmentos más importantes en la absorción de la luz, el color verde característico de estas moléculas, es

ocasionado por reflejar este rango de la luz visible.

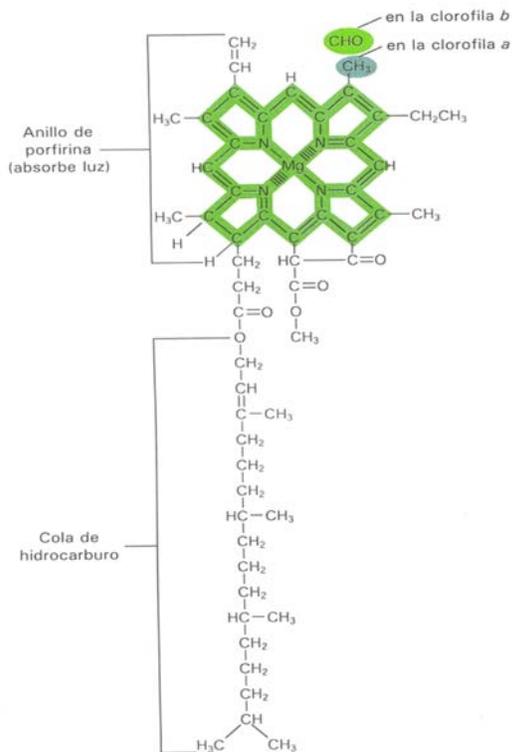


Fig. 3.20. Las moléculas de clorofila están compuestas por dos subunidades: el anillo de porfirina y el grupo fitol que es una cadena hidrocarbonada. Tomado de Solomon 2001.

Las moléculas de clorofila están compuestas por dos partes: **1) la porfirina** que es un anillo policíclico, cuyo centro está ocupado por un átomo de magnesio (Mg), esta estructura es la encargada de captar la energía lumínica, y **2) el grupo fitol** que es una cadena larga de hidrocarburos con características hidrofóbicas, la función de esta es la de anclar a la molécula de clorofila en la matriz fosfolipídica de las membranas donde se encuentran. Las células de plantas superiores contienen dos tipos de clorofila la **a** y la **b**.

La clorofila **a** capta la luz roja y la **b** la luz azul. Además de las clorofilas las

células fotosintéticas poseen pigmentos secundarios o accesorios, por ejemplo los carotenoides que pueden ser de colores amarillos, rojos o púrpuras. En conjunto los pigmentos fotosintéticos amplían el rango de absorción abarcando todo el espectro de la luz visible. (Fig. 3.20. y 3.21.)

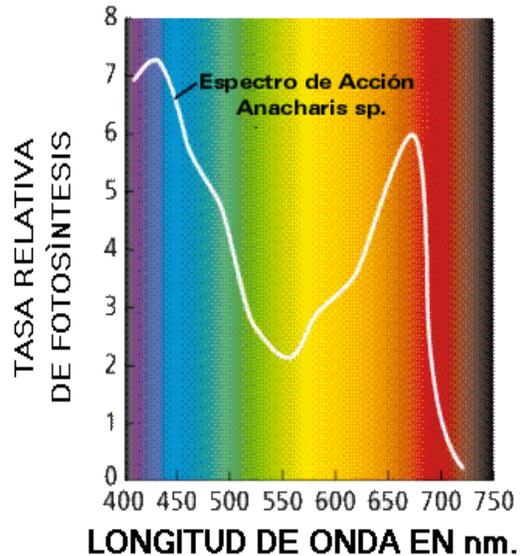
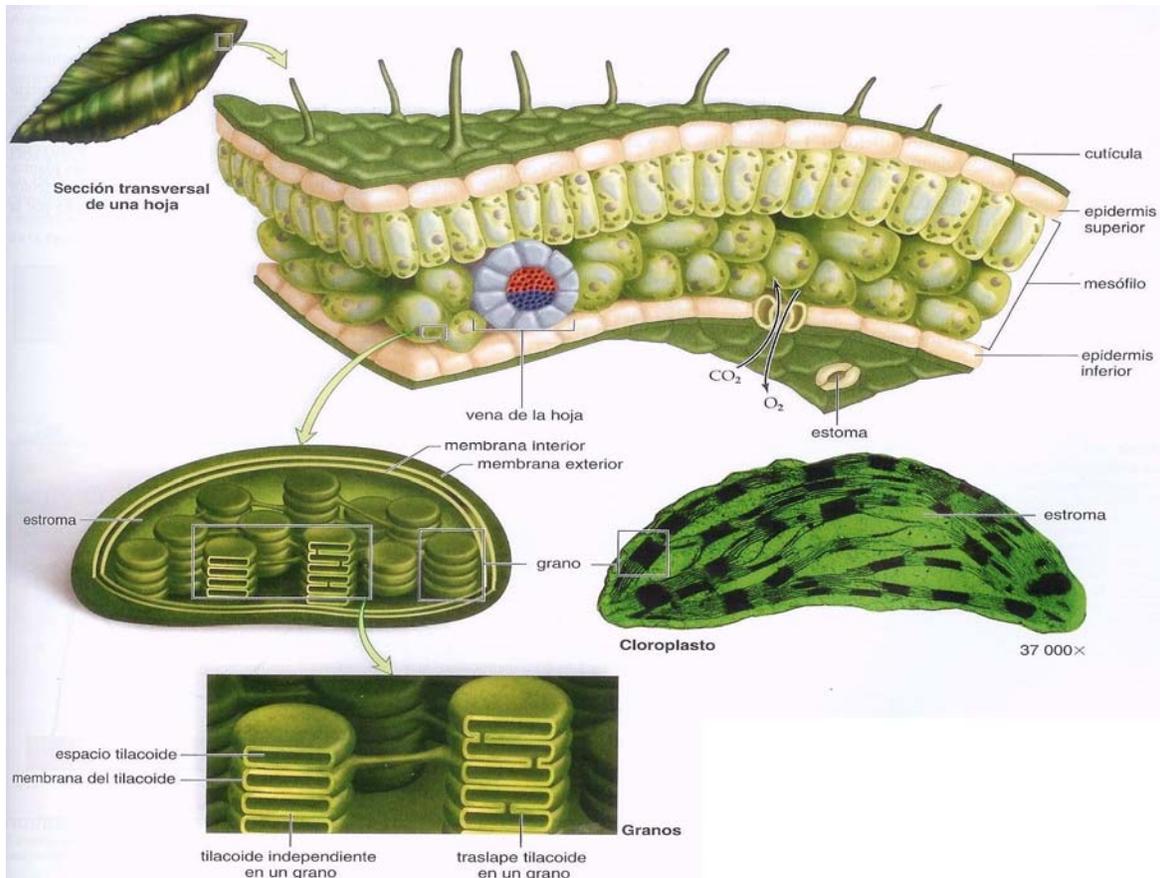


Fig. 3.21. Longitudes de onda que absorben las clorofilas. La clorofila b captura la luz azul y la clorofila a la luz roja. Tomado de [www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm](http://www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm).

### Los cloroplastos

Las plantas, las algas y algunos protozoarios, realizan la fotosíntesis en sitios especializados llamados **cloroplastos**. En la mayoría de las plantas la fotosíntesis se realiza en los tejidos verdes, principalmente, en las hojas, en donde los cloroplastos están restringidos al tejido fotosintético, también llamado mesófilo y están ausentes en células de la epidermis y de



**Fig. 3.22.** La fotosíntesis se realiza en los cloroplastos, estos organelos se localizan en las células del mesófilo de las hojas. Tomado de Mader, 2008.

la cutícula foliar con excepción de las células que integran a los estomas que también poseen estos organelos. Cada célula del mesófilo contiene de 20 a 100 cloroplastos. (Fig. 3.22.)

Los cloroplastos son organelos celulares en forma de lenteja, con pocas micras de diámetro, su tamaño permite verlos con facilidad a través del microscopio óptico. Están delimitados por una membrana **externa** altamente permeable y una **interna** menos permeable, en la que están embebidas proteínas de transporte y entre ellas un estrecho espacio intermembrana, formando la envoltura del cloroplasto.

La membrana interna envuelve un espacio lleno de una sustancia acuosa llamado **estroma**, que contiene ribosomas, ARN y ADN. Una tercera membrana forma unas estructuras semejantes a sacos aplanados de forma discoidal llamados **tilacoides**, que en su parte interna se forma una cámara acuosa que se comunican entre sí, con otros lúmenes, dando lugar a un tercer compartimento llamado **espacio tilacoide o lumen del tilacoide**.

Los tilacoides se agrupan uno sobre otro formando una pila, que recibe el nombre de **grana**, los cuales están interconectados por medio de membranas a las que se les denomina

**intergranas o lamelas estromales.** Este sistema de membranas está interconectado por el lumen tilacoideo formando una red.

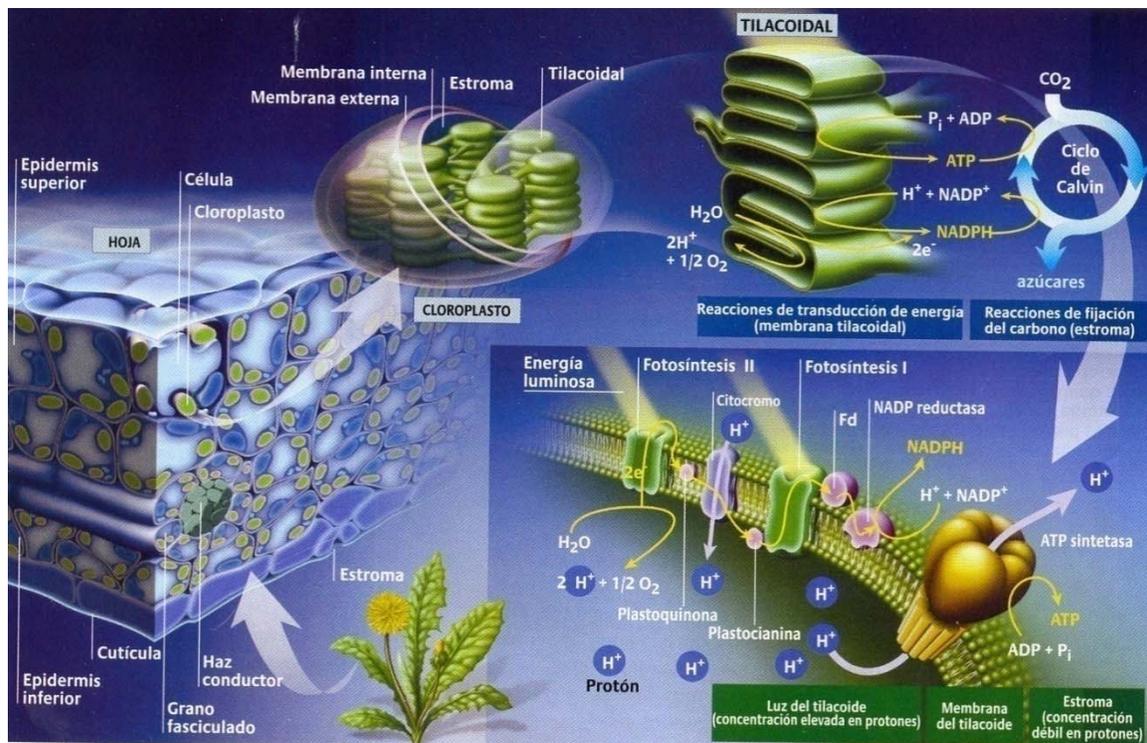
Los pigmentos fotosintéticos en conjunto con proteínas específicas forman los **fotosistemas**, los cuales están insertados en las membranas tilacoidales.

**Sabías que:** las clorofilas presentes en los cloroplastos de las plantas, son las captadoras de la energía solar y en el proceso fotosintético la transforman en los azúcares que proporcionan energía.

Los cloroplastos de plantas superiores tienen dos tipos de fotosistemas: el **fotosistema I** y el **fotosistema II**, cada uno contiene entre 200 y 400 moléculas de clorofila, más otros pigmentos

distintos, por ejemplo, cada fotosistema en los cloroplastos de espinaca, contienen 200 clorofilas y 50 moléculas carotenoides.

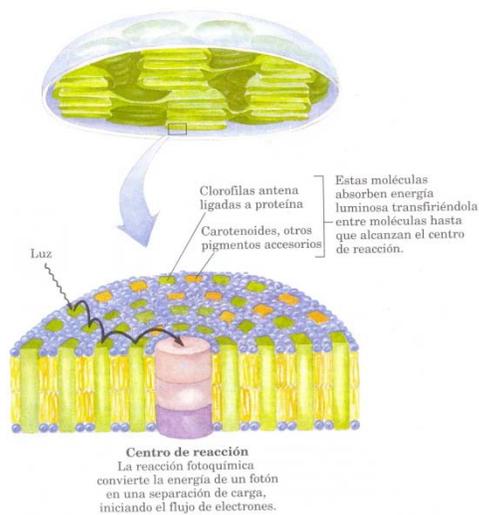
En las membranas tilacoideas se lleva a cabo la fase luminosa de la fotosíntesis. Todos los pigmentos presentes en los fotosistemas pueden capturar fotones, pero sólo las moléculas de clorofila asociadas al centro de reacción fotoquímico, están capacitadas para transformar la energía lumínica en energía química. Los pigmentos que se encuentran fuera del centro de reacción se denominan moléculas captadoras de luz o moléculas antena, estos pigmentos son muy eficientes en la absorción y transmisión de la energía lumínica al centro de reacción.



**Fig. 3.23.** La fotosíntesis se realiza en los cloroplastos. La fase luminosa se lleva a cabo en las membranas de los tilacoides y la fase oscura en el estroma. Tomada de Mundo científico No. 243.

El fotosistema I es común localizarlo en las membranas de las intergranadas y el fotosistema II en las membranas de las granas.

Las membranas tilacoideas además contienen a los complejos proteicos involucrados en la síntesis de ATP, la ATPasa o también llamada ATP sintetasa y los citocromos. (Fig.3.23.)



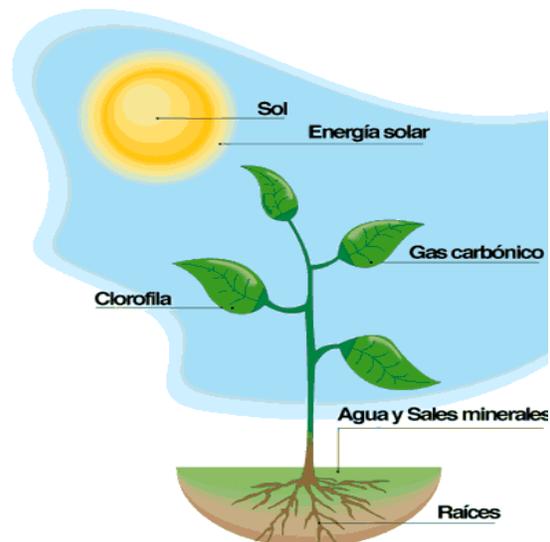
**Fig. 3.24.** Los fotosistemas están compuestos por pigmentos antena que se encuentran rodeando al centro de reacción fotoquímico, lugar donde se da la conversión de la luz en energía química. Tomado de Nelson y Cox, 2001.

Se cree que los cloroplastos evolucionaron por endosimbiosis de organismos semejantes a las actuales cianobacterias, ya que poseen su propio material genético, muy parecido a los cromosomas de organismos procariontes, entre otras evidencias.

### Haciendo cosas con la luz, la fotosíntesis

La principal función de la fotosíntesis es la transformación de la energía solar en

energía química almacenada en moléculas reducidas de carbohidratos. Estas moléculas como su nombre lo indica **carbohidratos**, están compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Los organismos toman el carbono y el oxígeno del bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el hidrógeno de las moléculas de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Las plantas terrestres toman el agua del suelo a través de las raíces y la conducen hasta las hojas por su sistema circulatorio (el xilema), el bióxido de carbono es un gas atmosférico que es absorbido por los estomas de las hojas. (Fig.3.24. y 25.)



**Fig. 3.25.** Las plantas necesitan luz,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  para realizar la fotosíntesis. Tomado de [www.aldeaeducativa.com/imagenes/fotosintesis-1.gif](http://www.aldeaeducativa.com/imagenes/fotosintesis-1.gif).

Los **estomas** son unos poros que se localizan en el envés de las hojas y se encargan de realizar el intercambio gaseoso de las plantas, a través de ellos se libera a la atmósfera el oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ), residuo del proceso fotosintético y se capta el bióxido de carbono necesario para el mismo proceso. En el caso de los organismos

acuáticos como las algas y cianobacterias toman tanto el bióxido de carbono y el agua del medio. (Fig.3.26.)



**Fig. 3.26.** Los estomas son poros, que se pueden abrir o cerrar para regular el paso de gases a través de la epidermis de la hoja. Tomado de Solomon 2001.

**¡Atención!** No confundir **Estomas** con **Estroma**, son palabras muy parecidas, con significados diferentes. Estomas son los poros de las hojas y estroma es la cámara acuosa del interior del cloroplasto.

La fotosíntesis es un proceso anabólico que se realiza en dos etapas: La fase **luminosa o fotodependiente** y la **obscura o fotoindependiente**.

### Fase luminosa

Durante la fase luminosa se capta la energía solar y se transforma en energía química que es transferida momentáneamente a las moléculas de ATP y NADP<sup>+</sup>. En organismos fotosintéticos eucariontes la fase

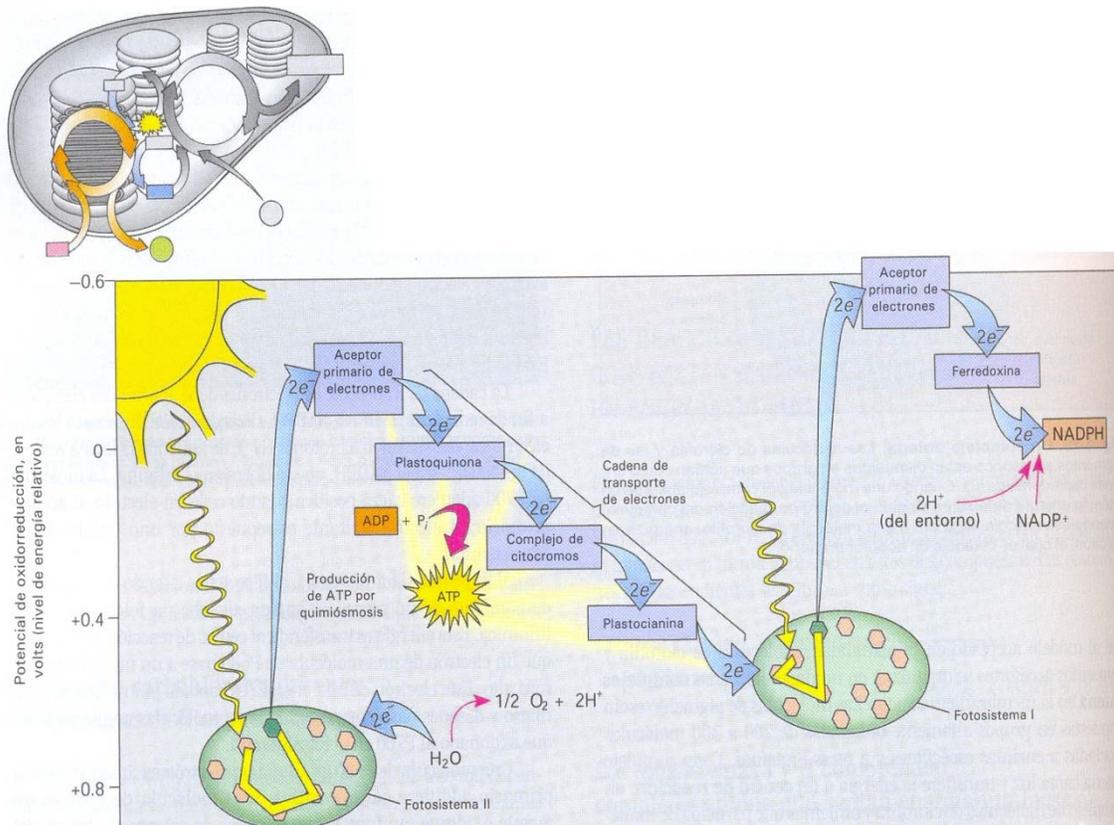
luminosa se lleva a cabo en los tilacoides de los cloroplastos. Las membranas tilacoideas de las plantas superiores poseen dos tipos diferentes de fotosistemas, éstos desempeñan distintas funciones, actúan uno tras de otro y son complementarios.

**El fotosistema II (PSII)** posee la misma proporción de clorofila a y clorofila b, su centro de reacción se reconoce como **P680**, debido a que tiene un pico pronunciado de absorción de 680 nm. **El fotosistema I (PSI)**, contiene una mayor cantidad de clorofila a respecto a la clorofila b, su centro de reacción es conocido como **P700** debido a que su pico de absorción es de 700 nm.

Las reacciones fotodependientes o fase luminosa comienza cuando las moléculas antena del fotosistema II absorben energía luminosa y en cuestión de fracción de segundo el fotón es transferido al centro de reacción P680, las moléculas de clorofila del centro de reacción al absorber los electrones se elevan a un nivel energético superior y se encuentran en **estado excitado**.

Las clorofilas excitadas pronto liberan los electrones para pasar a su estado basal. Los electrones liberados son captados por **el aceptor primario de electrones** que en este caso es la feofitina.

La feofitina reducida transfiere los electrones a **la cadena de transporte de electrones**, donde se establece un flujo continuo, mediado por el complejo de citocromos, hasta llegar a la plastocianina que transferirá los electrones al fotosistema I.



**Fig. 3.27. Fase luminosa.** Las reacciones fotodependientes se realizan en las membranas tilacoideas, donde los pigmentos y complejos proteicos se arreglan para formar los fotosistemas, en los que se realiza la captación y transformación de energía. Tomado de Solomon 2001.

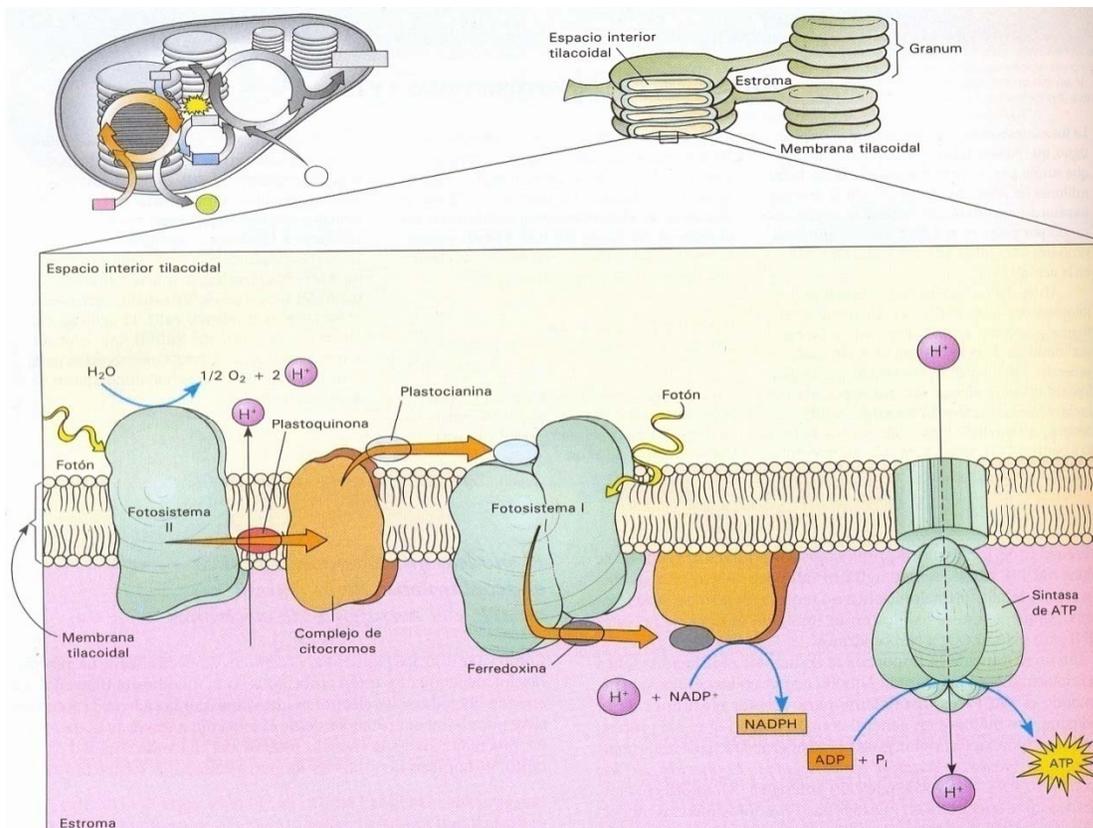
Cada vez que se pasan electrones de un aceptor a otro se libera energía, a esta pérdida energética se le conoce como **decaimiento energético**.

Parte de esta energía liberada será utilizada para realizar **la fotólisis del agua**, en la que se separa a los átomos de hidrógeno de los del oxígeno. Los átomos de oxígeno serán liberados a la atmósfera y los de hidrógeno reducirán a la molécula de  $\text{NADP}^+$ . (Fig. 3.27.)

La otra parte de la energía liberada se utiliza para bombear protones (+) desde el estroma hasta el espacio tilacooidal, a

través de la membrana tilacooidal, lo que provoca una diferencia eléctrica, cargando positivamente el lumen tilacooidal.

Por el proceso de la **quimiósmosis** los protones regresarán al estroma utilizando el complejo enzimático denominado ATP sintetasa, de esta forma se restablece el equilibrio eléctrico. Durante la quimiósmosis se genera energía suficiente para fosforilar moléculas de ADP para formar ATP, a todo este proceso se le conoce como **fotofosforilación**. (Fig. 3.28)

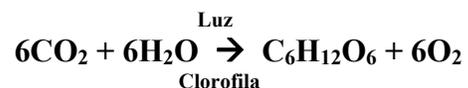


**Fig. 3.28. Membrana del tilacoide. Los fotosistemas y otros complejos proteicos se localizan en la membrana tilacoidal, donde se realiza la fotofosforilación. Tomado de Solomon 2001.**

Como se mencionó, los dos fotosistemas son complementarios y se desarrollan uno tras otro. Pues bien la plastocianina reducida transfiere los electrones al fotosistema I, el cual es excitado su centro de reacción P700, que transfiere electrones a un aceptor primario hasta llegar a la ferredoxina, la cual transferirá los electrones a la molécula de  $\text{NADP}^+$  para formar NADPH. Los productos generados durante la fase luminosa son el ATP y el

NADH que pasarán al estroma donde participarán en la fase oscura. (Fig.3.29.)

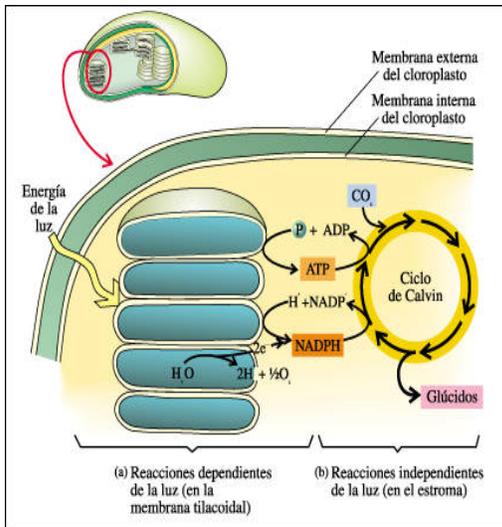
**Formula general de la fotosíntesis:**



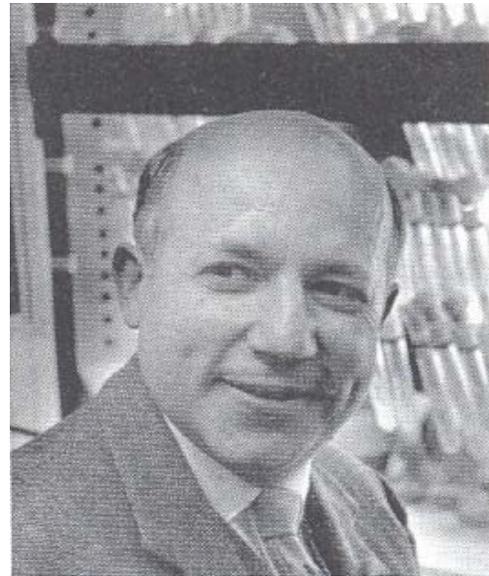
**Los productos generados durante las reacciones de la fase luminosa son:**

**Energía solar → energía química (ATP, NADPH)**

**Sabías que:** la coenzima **nicotinamida adenina dinucleótido fosfato** o NADP es un excelente transportador de átomos de hidrógeno y electrones que puede participar en diferentes reacciones redox



**Fig. 3.29. Los productos generados durante las reacciones fotodependientes o fase luminosa: ATP y NADPH, pasan al estroma para ser utilizados en el ciclo de Calvin.** Tomado de [www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm](http://www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm)

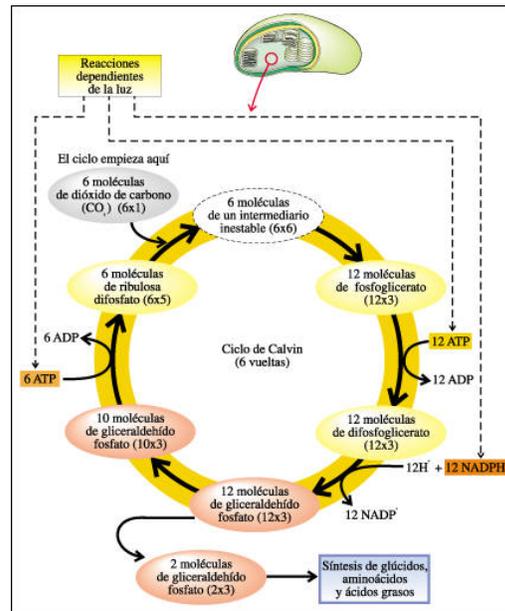


**Fig. 3.30. Malvin Calvin (1911-1997), en 1961 recibió el premio Nobel, por descubrir las reacciones de la fase oscura de la fotosíntesis.** Tomado de Nelson y Cox 2001.

### La fase oscura:

La etapa en la que se sintetizan los carbohidratos durante la fotosíntesis es la fase oscura, también nombrada fase de fijación del carbono o ciclo de Calvin, en honor al científico estadounidense Melvin Calvin, que junto con Andrew Benson descubrieron las reacciones bioquímicas que se desarrollan durante este proceso. La fase oscura se lleva a cabo en el estroma del cloroplasto y los requerimientos necesarios para que se realice este proceso son ATP, NADPH y CO<sub>2</sub>. (Fig.3.30.)

La fase oscura es una secuencia cíclica de reacciones bioquímicas catalizadas por 13 enzimas, con el fin de fabricar moléculas de glucosa. El ciclo de Calvin para su mejor comprensión fue dividido por Nelson y Cox en las siguientes 3 etapas:



**3.31 Ciclo de Calvin. La fijación del carbono inicia cuando 6 moléculas de CO<sub>2</sub> son unidas a 6 moléculas de ribulosa 1,5 bifosfato y termina cuando se forma una molécula de glucosa y se regeneran las 6 ribulosas 1,5 bifosfato.** Tomado de [www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/](http://www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/)

## Etapa I. Fijación del bióxido de carbono

El proceso inicia cuando la enzima **ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa**, más conocida como **rubisco** une una molécula de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a una molécula de 5 carbonos, la ribulosa 1,5 difosfato, como producto de esta reacción se forma una molécula muy inestable de 6 carbonos, que inmediatamente se disocia en dos moléculas de 3 carbonos cada una, llamadas 3 fosfoglicerato o PGA, esta etapa se establece como fase de fijación del carbono. Para fabricar una molécula de 6 carbonos como la glucosa, se necesita que se fijen 6 moléculas de CO<sub>2</sub> a través de este proceso. Por lo tanto al final de esta etapa se han generado 12 moléculas de PGA.

**Sabías que:** la enzima rubisco ocupa el 50% de las proteínas que posee el cloroplasto y que es la enzima más abundante en el planeta.

## Etapa II. Reducción del bióxido de carbono

Durante esta etapa las 12 moléculas de 3 fosfoglicerato son transformadas en 12 moléculas de gliceraldehído 3 fosfato. Este proceso se realiza en dos reacciones: en la primera la enzima **3 fosfoglicerato quinasa**, cataliza la

transferencia de un grupo fosfato desde el ATP al fosfoglicerato, produciendo 1,3-bifosfoglicerato. En la segunda reacción, la enzima **gliceraldehído 3 fosfato deshidrogenasa**, transfiere hidrógenos desde la molécula de NADPH al 1,3 bifosfoglicerato para formar gliceraldehído 3 fosfato.

De las 12 moléculas de gliceraldehído 3 fosfato que se acaban de generar, dos son polimerizadas para formar una molécula de 6 carbonos, llamada fructosa 1,6 bifosfato, ésta molécula pierde los grupos fosfato y es isomerizada en una molécula de glucosa. Las otras 10 moléculas de gliceraldehído 3 fosfato siguen a la siguiente etapa.

## Etapa III. Regeneración de la ribulosa 1,5 bifosfato

Para que se de la fijación de dióxido de carbono se necesita la regeneración continua de la molécula de ribulosa 1,5 difosfato. Esto ocurre cuando las 10 moléculas de gliceraldehído 3 fosfato, siguen una serie de reacciones bioquímicas para transformarse en las 6 moléculas de ribulosa 1,5 bifosfato, durante estas reacciones se consumen seis moléculas de ATP. (Fig.3.31.)

Resumen de las etapas de la fotosíntesis				
	Condiciones	¿En dónde?	¿Qué ocurre aparentemente?	Resultados
Reacciones que Capturan energía	Luz	Tilacoides	La luz que incide sobre el Fotosistema II lanza electrones cuesta arriba. Estos electrones son reemplazados por electrones de moléculas de agua que, al escindirse, liberan O <sub>2</sub> . Los electrones luego pasan cuesta abajo, a lo largo de una cadena de transporte de electrones, al Fotosistema I y de éste -nuevamente cuesta abajo- al NADP, que se reduce formando NADPH. Como resultado de este proceso, se forma un gradiente de potencial electroquímico merced al cual se produce ATP a través de un mecanismo quimiosmótico	La energía de la luz se convierte en energía química que se almacena en enlaces de ATP y NADPH
Reacciones de fijación de carbono	No requieren luz, aunque algunas enzimas son reguladas por ella	Estroma	Ciclo de Calvin. El NADP y el ATP formados en las reacciones que capturan energía luminica se utilizan para reducir el dióxido de carbono. El ciclo produce gliceraldehído fosfato, a partir del cual puede formarse glucosa y otros compuestos orgánicos	La energía química del ATP y del NADPH se usa par incorporar carbono a moléculas orgánicas

## Replicación del ADN

La continuidad y mantenimiento de la vida es gracias a la reproducción celular y para que ésta sea posible, es necesario que se realice **la replicación o duplicación** del ácido desoxirribonucleico o ADN. La información genética se encuentra almacenada en las moléculas de ADN en todos los seres vivos, el cual contiene las unidades hereditarias llamadas genes, contenidos en los cromosomas.

Las células procariotas por lo común presentan un solo cromosoma circular, que esta compuesto por ADN, se ubica en un lugar específico del citoplasma llamado región nucleóide. Las células eucariotas presentan varios cromosomas, siendo el número de estos característico de cada especie, constituidos por ADN y proteínas, que forman unas estructuras llamadas nucleosomas, que al compactarse determinan la estructura de la cromatina, ésta al enrollarse en sí misma va a dar forma a los cromosomas. (Fig. 3.32.)

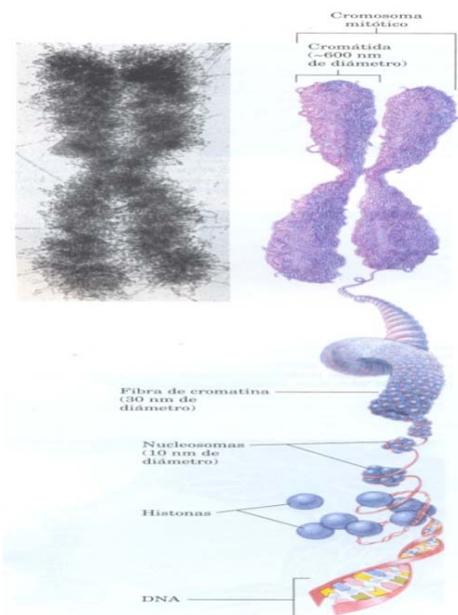
El material genético, tanto en las células procariotas como en las eucariotas, presenta características estructurales comunes.

El ADN es una molécula **bicatenaria**, dicho de otra manera, esta conformada por dos cadenas polinucleotídicas, que son **antiparalelas**, es decir, que las cadenas presentan sentidos opuestos y son **complementarias** y están arregladas en forma **helicoidal**.

Desde que dieron a conocer el modelo de la estructura del ADN en 1953, los científicos James Watson y Francis

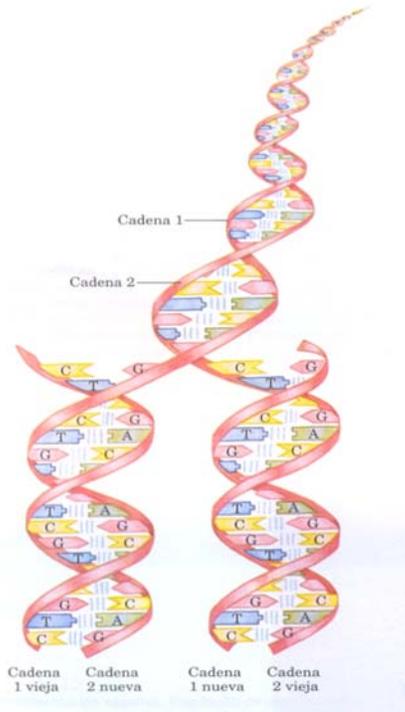
Crick, propusieron que la forma de replicación del material genético es **semiconservativa**, es decir, si la doble hélice es desenrollada, cada nucleótido a lo largo de las dos cadenas parentales tendría afinidad por su nucleótido complementario. La complementariedad obedece a la regla de Chargaff, la cual establece que los nucleótidos que poseen Adenina (A) se complementan con los que tienen Timina (T) y los de Guanina (G) son complementarios con los que contienen Citosina (C).

La replicación del ADN es una función esencial del material genético y debe ser ejecutada con precisión, para mantener la continuidad genética de la célula. Si a lo largo de ambos moldes los nucleótidos se unen covalentemente en cadenas polinucleotídicas, el resultado es la producción de dos cadenas dobles de ADN idénticas.



**Fig. 3.32. Cromosoma eucarionte.** El ADN junto con las proteínas, forman la cromatina que al compactarse da origen a los nucleosomas y estos al enrollarse forma al cromosoma. Tomado de Nelson y Cox 2001.

Cada molécula de ADN replicada contiene una cadena vieja y una nueva, de aquí el nombre de **replicación semiconservativa**, esto se ha sido confirmado experimentalmente en estudios realizados con virus y células procariotas y eucariotas. (Fig. 3.33.)

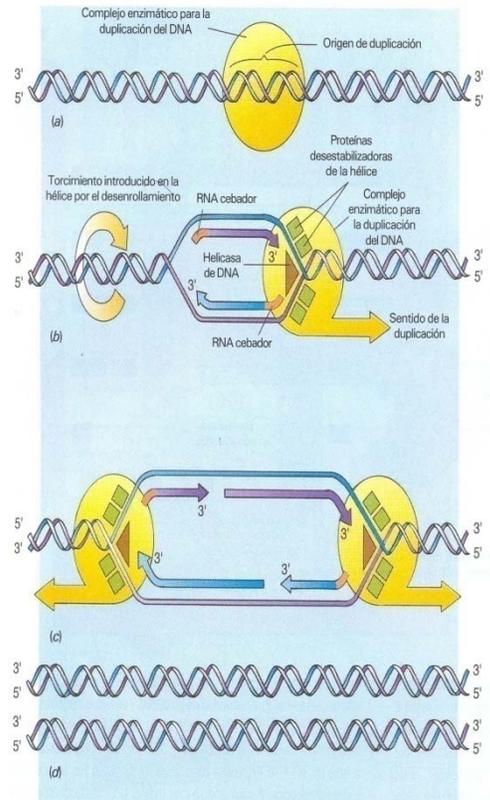


**Fig. 3.33.** La replicación del ADN es semiconservativa, es decir, se generan dos cadenas dobles, de las cuales una es la cadena vieja y la otra es la nueva. Tomado de Nelson y Cox 2001.

### Desenrollamiento del ADN

Durante la primera etapa se desenrolla la doble hélice, las enzimas *helicasa de ADN*, son las encargadas de efectuar este proceso, estas recorren la doble hélice, desenrollando las cadenas conforme va avanzando. Una vez separadas las cadenas, se unen a proteínas llamadas desestabilizadoras de la hélice, que impiden que se forme la

hélice nuevamente mientras se duplican las cadenas. (Fig. 3.34)



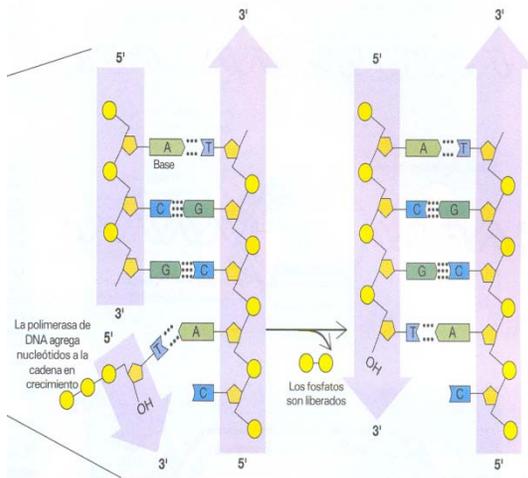
**Fig. 3.34.** La replicación del DNA. Tomado de Solomon 2001.

### Síntesis de ADN

En esta segunda etapa, se realiza la polimerización o unión de nuevos nucleótidos para formar nuevas cadenas, este proceso está catalizado por las enzimas *polimerasas de ADN*. Los nucleótidos sólo pueden ser ligados en el extremo 3' de la cadena polinucleotídica en crecimiento y esta debe estar paralela a la cadena que se está copiando.

Conforme la nueva cadena se va alargando, con la adición de nuevos nucleótidos, a través de su grupo fosfato 5' con el extremo 3' del azúcar (desoxirribosa), de la cadena

preexistente, la nueva cadena siempre crece en el sentido 5' → 3'. (Fig. 3.35.)



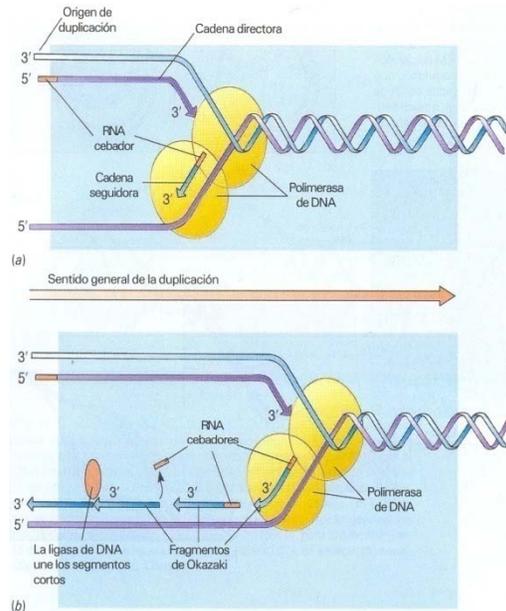
**Fig. 3.35.** La polimerización de los nucleótidos en la replicación, se realiza iniciando en el extremo 3' de la cadena molde. Tomado de Solomon 2001.

Para que la enzima *polimerasa de ADN* pueda agregar nucleótidos para formar una nueva cadena, requiere la presencia de una cadena pequeña de ácido ribonucleico (ARN), por lo común formada por unos cinco nucleótidos, llamada **ARN primer o cebador**, que sirve de punto de inicio para la replicación.

La duplicación continua inicia en la cadena molde de ADN que tiene sentido 3' → 5' donde se localiza el **origen de duplicación**, al mismo tiempo se separan las dos cadenas formando lo que se denomina **horquilla de duplicación**, ésta se va desplazando a lo largo de la doble hélice conforme se van sintetizando las dos nuevas cadenas.

Una enzima *polimerasa de ADN* va ligando nucleótidos al extremo 3' de una nueva cadena, que crece de manera

continua y uniforme hacia la horquilla de duplicación a la que se le llama **cadena directora o direccional**. (Fig. 3.36.)



**Fig. 3.36.** La replicación inicia en los sitios denominados origen de duplicación de la cadena de ADN que tiene el sentido 3' → 5' en formación. Tomado de Solomon 2001.

Una segunda enzima *polimerasa de ADN*, agrega nucleótidos al extremo 3' de la otra cadena que se está sintetizando, que siempre crece en sentido opuesto a la horquilla de duplicación. La duplicación de ésta cadena la hace en secuencias cortas, llamadas **fragmentos de Okazaki**, por esta razón, esta cadena es llamada **discontinua o seguidora**. La unión de los fragmentos en duplicación es realizada por enzimas *ligasas de ADN*, por el extremo 5' de un fragmento con el 3' del otro.

Finalmente, la síntesis de ADN es bidireccional, cuando las dos cadenas de ADN se separan, se forman dos horquillas de duplicación en direcciones

opuestas, de esta manera, la síntesis de las nuevas cadenas se realiza en ambos sentidos a partir del origen de duplicación.

## Síntesis de Proteínas

Los rasgos estructurales y funcionales que distinguen a cada ser vivo constituyen su fenotipo, el cual está determinado por la expresión genética de la molécula del ADN, que contiene las unidades de la herencia, es decir, los genes. Desde el punto de vista bioquímico, un gen es el número y secuencia de nucleótidos presentes en la molécula del ADN, que contienen la información hereditaria para sintetizar a una proteína.

La secuencia de nucleótidos presentes en el ácido desoxirribonucleico, determina el número y orden de aminoácidos que conforman a una proteína. El ADN no puede expresarse directamente, sino requiere de la participación de algunos intermediarios moleculares como son los **ácidos ribonucleicos o ARN**.

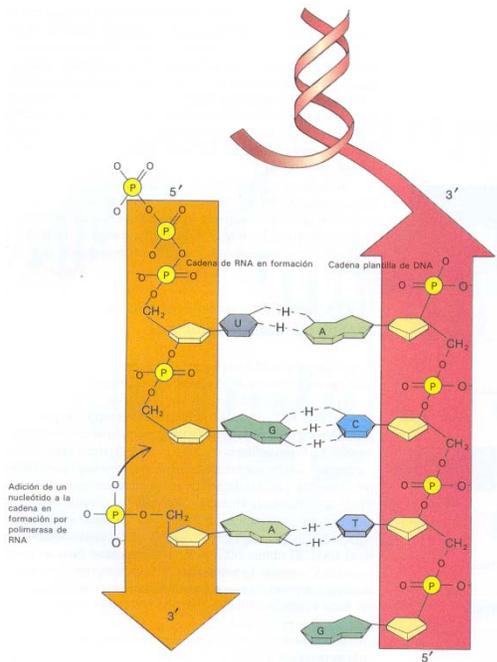
El ácido ribonucleico está formado por una sola cadena polinucleótida, como característica distintiva, el ARN posee en cada nucleótido el azúcar **ribosa** y como base nitrogenada el Uracilo (U) que sustituye a la Timina (T) del ADN. Existen diferentes tipos de ARN, el mensajero (**ARN<sub>m</sub>**), el ribosomal (**ARN<sub>r</sub>**) y el de transferencia (**ARN<sub>t</sub>**).

El mecanismo anabólico que se encarga de elaborar proteínas a partir de la información genética, se denomina **síntesis de proteínas**, este proceso se divide en dos fases: la **transcripción** y la **traducción**.

## Transcripción

La transcripción es la elaboración de una cadena de ácido ribonucleico a partir de una molécula molde de ADN, la cual transcribe para la síntesis de los tres tipos de ARN: mensajero, ribosomal y de transferencia, esta actividad es catalizada por la enzima *polimerasa de ARN*, presente en todas las células. La transcripción, sigue la regla de complementariedad de Chargaff, sólo que en vez de poseer Timina (T), el ARN contiene Uracilo (U), que es complementario con la Adenina (A). La síntesis de ARN<sub>m</sub> se realiza en el sentido 5' → 3', la cadena de ARN en formación es antiparalela a la molécula de ADN molde. (Fig. 3.37.)

Además de la enzima *ARN polimerasa*, participan otras proteínas en la transcripción, que inicia en sitios especializados denominados **promotores**, que consisten en secuencias cortas de nucleótidos presentes en la molécula de ADN que no se transcriben, sólo sirven como señal para que la *ARN polimerasa* inicie la transcripción. El primer ribonucleótido que se ensambla va a determinar el extremo 5' y a partir de éste se van a unir el resto de los nucleótidos, en el extremo 3' de cada uno de ellos, conforme la cadena de ARN<sub>m</sub> va creciendo.



**Fig. 3.37. La formación de una nueva cadena de ARNm se denomina transcripción. Tomado de Solomon 2001.**

El último ribonucleótido de la cadena determina el extremo 3', la transcripción termina cuando la *ARN polimerasa* reconoce una secuencia de nucleótidos de la cadena de ADN que funciona como **señal de paro** o **alto**. La nueva cadena de ARN que se origina es el mensajero. La transcripción se realiza en el interior del núcleo y la cadena de ARNm debe salir al citoplasma para que se realice la traducción.

El ARNm cerca de su extremo 5' posee una secuencia de nucleótidos llamada **directora**, que no es codificadora, esta secuencia funciona como señal de reconocimiento para el ensamblaje de ribosomas, para que estos se coloquen adecuadamente durante la traducción del mensaje. La secuencia directora es seguida por la **secuencia codificante**, que contiene los mensajes para la

codificación de proteínas. Al final de cada secuencia codificadora, se ubica un **codón** de término o de **paro**, siendo estos UAA, UGA y UAG, que no codifican para aminoácidos, sino que sólo funcionan como señal de término.

La forma de traducir la información hereditaria contenida en el ARN mensajero, es agrupando los nucleótidos en secuencias de tres, llamados **tripletes**. Cada triplete codifica para un aminoácido que formará parte de la proteína que se va a sintetizar, respetando el código genético, por ejemplo 5' CGU 3' codifica para la Arginina. Los tripletes presentes en el ARNm se denominan **codones** (Fig. 3.38.)

## Traducción

La traducción, es el mecanismo por el cual se sintetizan las proteínas. Esta síntesis se realiza decodificando la información genética contenida en el ARN mensajero, por parte de los ribosomas y ARN de transferencia, determinado por el código genético.

Para facilitar la comprensión del proceso de traducción se divide en tres etapas: la de **iniciación**, **alargamiento** y **terminación**.

El ARN mensajero se desplaza hacia el citoplasma para acoplarse a la subunidad pequeña de ribosoma. En la etapa de iniciación, la subunidad pequeña del ribosoma participa en la formación de un complejo de iniciación (constituido por la subunidad pequeña del ribosoma, el ARNm y el ARN<sub>t</sub> con

		Segunda letra en el triplete de RNAm					
		U	C	A	G		
Primera letra en el triplete de RNAm	U	UUU } fenilalanina UUC } UUA } leucina UUG }	UCU } UCC } serina UCA } UCG }	UAU } tirosina UAC } UAA } codón de UAG } terminación	UGU } cisteína UGC } codón de UGA } terminación UGG } triptofano	U C A G	Tercera letra en el triplete de RNAm
	C	CUU } leucina CUC } CUA } CUG }	CCU } CCC } prolina CCA } CCG }	CAU } histidina CAC } CAA } glutamina CAG }	CGU } CGC } arginina CGA } CGG }	U C A G	
	A	AUU } isoleucina AUC } AUA } metionina AUG }	ACU } ACC } treonina ACA } ACG }	AAU } asparagina AAC } AAA } lisina AAG }	AGU } serina AGC } AGA } arginina AGG }	U C A G	
	G	GUU } valina GUC } GUA } GUG }	GCU } GCC } alanina GCA } GCG }	GAU } ácido aspártico GAC } GAA } ácido glutámico GAG }	GGU } GGC } glicina GGA } GGG }	U C A G	

**Fig. 3.38.** El código genético esta constituido por los codones que determinan el aminoácido que se va a expresar Tomado de Solomon 2001.

metionina), que se asocia a la unidad grande del ribosoma dando origen al ensamblaje de este.

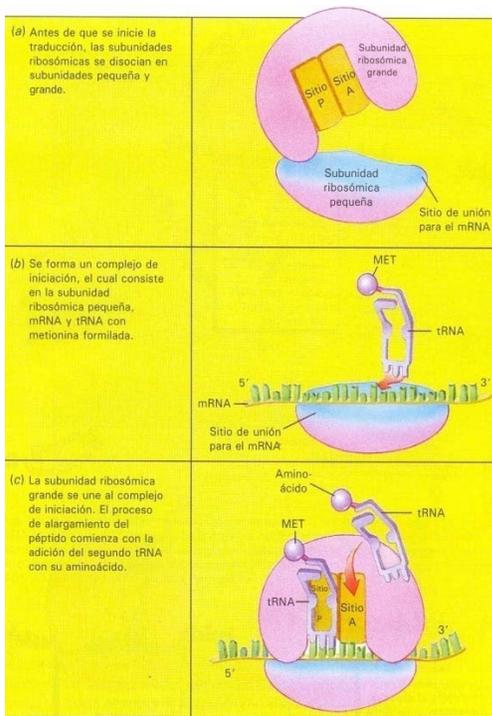
La subunidad grande del ribosoma contiene dos compartimientos denominados A y P, que sirven de sitio de unión para las moléculas de ARN<sub>t</sub>. El ARN<sub>t</sub> que retiene la cadena polipeptídica se acomoda en el compartimento P. El sitio A se llama así porque en él se une el aminoacil-ARN<sub>t</sub> (es el ARN de transferencia que posee el aminoácido que se va a ensamblar a la cadena).

El aminoacil-ARN<sub>t</sub> va a transferir su aminoácido para unirlo a la cadena polipeptídica a través del enlace peptídico, el ARN de transferencia que ha cedido su aminoácido se va a desplazar al sitio P del ribosoma, dejando libre el sitio A, que queda disponible para que se

acople el siguiente aminoacil-ARN<sub>t</sub>. (Fig. 3.39.)

El ribosoma y el ARN<sub>m</sub> se desplazan uno respecto al otro, de modo que el codón del ARN<sub>m</sub> que especifica al siguiente aminoácido en la cadena polipeptídica se coloca en el sitio A desocupado. Este proceso implica el desplazamiento del ribosoma en sentido 3' a lo largo de la cadena de ARN<sub>m</sub>, de esta manera la traducción del ARN mensajero, siempre procede en el sentido 5' → 3'.

El extremo de la molécula de ARN<sub>m</sub> que se sintetizó primero durante la transcripción también es el primero en traducirse para formar el polipéptido. (Fig. 3.40.)

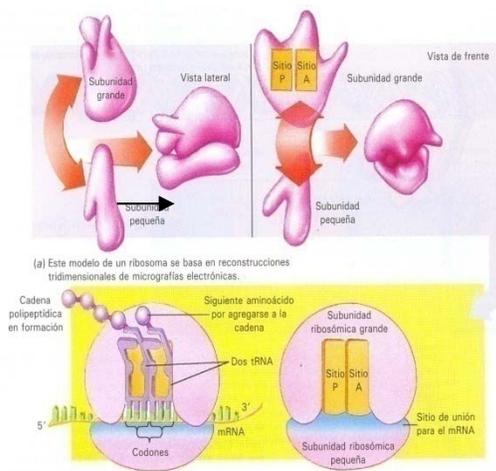


De esta manera se van agregando aminoácidos a la cadena polipeptídica, provocando el crecimiento de la misma, ésta es la **fase de alargamiento o elongación**, la enzima encargada de polimerizar a los aminoácidos es la *peptidiltransferasa*. (Fig. 3.41.)

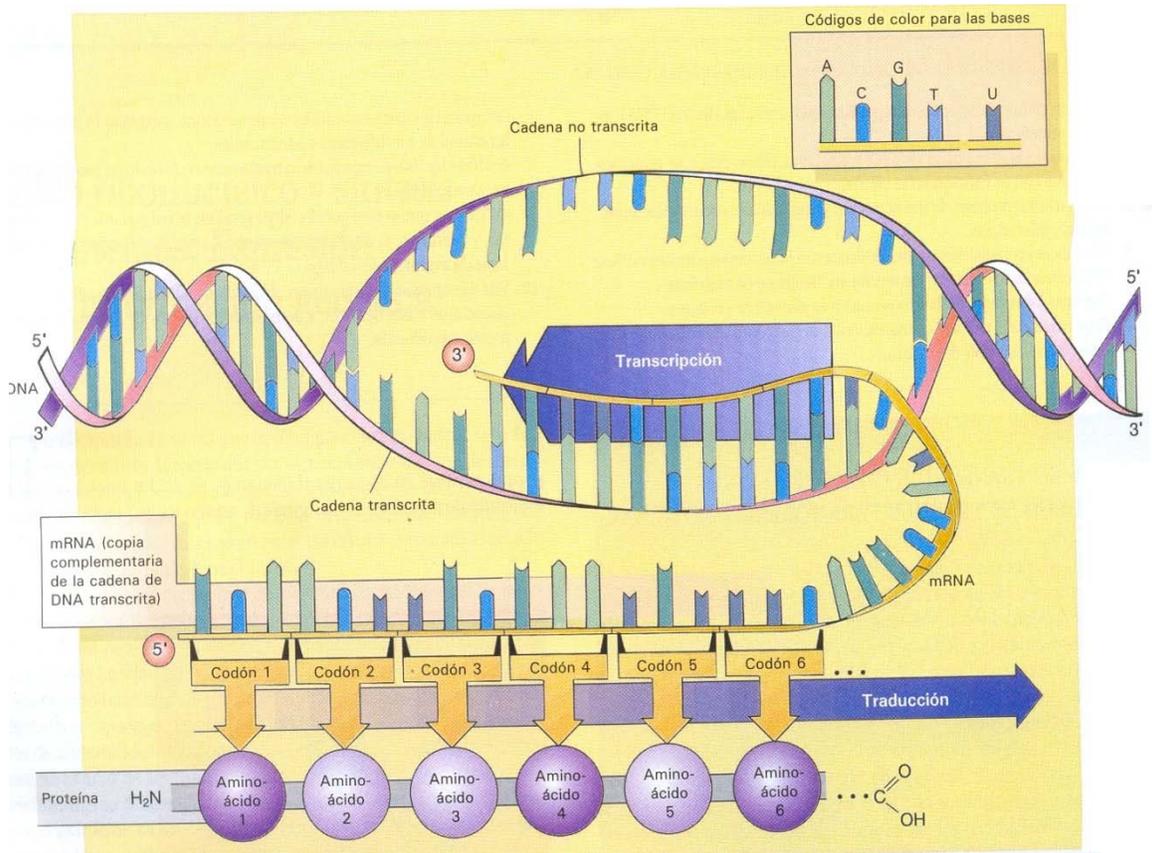
La síntesis termina cuando **factores de liberación**, reconocen el codón de terminación o de paro en el extremo de la secuencia codificadora. De esta manera se ha sintetizado una nueva proteína.

El reconocimiento de un codón de terminación por factores de liberación provoca que el ribosoma se divida en sus dos subunidades, para que se puedan utilizar nuevamente cuando un complejo de iniciación forme a una nueva proteína.

**Fig. 3.39.** La traducción inicia cuando una  $ARN_i$  se une al codón de inicio y de esta manera se pega la subunidad grande a la pequeña del ribosoma Tomado de Solomon 2001.



**Fig. 3.40.** El desplazamiento del ribosoma en la traducción va en sentido  $5' \rightarrow 3'$  de la molécula de  $ARN_m$ . Tomado de Solomon 2001.



**Fig. 3.41. La síntesis de proteínas se desarrolla en dos etapas: a) la transcripción y b) la traducción.**

# Actividades de aprendizaje

## Práctica de Laboratorio

### La Fermentación en el Proceso de Panificación

#### Introducción

Las moléculas de glucosa y de otros azúcares de seis carbonos, son la fuente principal de energía para la mayoría de los organismos, las células desdoblan la glucosa a través de una serie de reacciones químicas. La energía que se encuentra almacenada dentro de estos carbohidratos se libera poco a poco y se usa para adherir los grupos fosfato a las moléculas de ADP, para formar ATP que tienen un alto poder energético.

La fermentación es un proceso que genera ATP, en el cual las sustancias orgánicas actúan como dadores y aceptores de electrones. La fermentación puede producirse en ausencia de oxígeno y fue descubierta por Louis Pasteur, que la describió como “la vie sans l’air” (la vida sin aire). Las levaduras en condiciones anaeróbicas, transforman el piruvato producido en la glucólisis en etanol y bióxido de carbono.

La respiración anaerobia fue uno de los procesos biológicos que surgió en los orígenes de la vida en la Tierra, esta evoluciono en un ambiente carente de oxígeno molecular, permitiendo la degradación de los alimentos para extraer la energía que necesitaban. En la actualidad existen organismos que utilizan la fermentación como medio metabólico para obtener energía, las

levaduras son un ejemplo de organismos fermentadores, esta característica es utilizada en el proceso de panificación.

#### Objetivos

- Que el alumno comprenda, que la respiración celular es un proceso de conservación por medio del cual los organismos obtienen la energía necesaria para realizar sus funciones.
- Que el alumno explique porque una masa elaborada con harina de trigo, agua y levadura, aumenta su volumen después de dejarla reposar por un tiempo.

#### Material y equipo de laboratorio

- 1 balanza
- 1 microscopio óptico
- 1 termómetro
- 1 cristalizador grande
- 1 probeta de 50 ml.
- 1 caja de petri
- 2 porta objetos
- 2 cubre objetos
- 1 gotero
- 1 aguja de disección
- 1 cinta métrica
- 2 bolsas de plástico
- 1 cutter
- 1 servilleta de tela
- 1 cuchara
- 250 gr. de harina de trigo
- 4 gr. de levadura *Saccharomyces cerevisiae*
- Agua de la llave tibia
- Toallitas de papel
- Jabón, escobillón y franela

## Procedimiento

1. Revisar que el lugar de trabajo y todo el material de cristalería estén limpios
2. Pesar 250 gr. de harina y ponerlos en el cristizador
3. Agregar 4 gr. de levadura en polvo y revolver
4. Poner poco a poco el agua tibia (aproximadamente 150 ml.) y amasar hasta formar una masa suave y bien integrada
5. Formar una bola con la masa, pesarla, medir su diámetro y tomar su temperatura
6. Envolver la bola de masa en la servilleta de tela y meterla en una bolsa de plástico
7. Dejar reposar la masa por 30 minutos y volver a pesarla, medir su diámetro y tomar la temperatura
8. Repetir el paso número 7 dos veces más ahora cada 15 minutos
9. Una vez terminadas las mediciones cortar la masa a la mitad y observar
10. Mientras la masa reposa disolver un poco de la levadura en agua tibia y observarla al microscopio
11. Se lava todo el material que se utilizó y se limpia la mesa de trabajo

## Resultados

- Con los datos obtenidos los alumnos elaboraran una tabla en la que registraran las observaciones que hicieron, comparando y explicando lo que ocurrió en cada una de las mediciones
- Presentaran los dibujos que hicieron de las levaduras vistas al microscopio
- Resolverán un cuestionario que contiene preguntas generales sobre el tema.

- Los estudiantes entregaran un reporte de la práctica.

## Cuestionario

1. ¿Por qué la masa aumenta su volumen después de reposar?
2. ¿A qué se debe el cambio de peso que sufrió la masa después de reposar?
3. ¿Qué sustancias se producen en el proceso de fermentación?
4. ¿Qué olor percibiste en la masa después del proceso de fermentación?
5. ¿Qué observaste cuando se corto la masa y a qué se debe?

## Conclusiones

- Serán hechas por los estudiantes en el reporte que entreguen de la práctica.

## Sugerencias

- Se recomienda que la práctica se haga en equipo
- Para tomar la temperatura el termómetro se introduce en la masa unos 5 cm.
- Que sólo un alumno sea el que amase para que no se desperdicie la harina
- La bola de masa se debe tratar con cuidado para que no pierda su forma
- Si se usa levadura en pasta se tiene que agregar un 60% más (9 gr.)
- Las harinas requieren un 60% de su peso de líquido para formar una masa homogénea.

## Bibliografía

- Biggs, A; Kapicka, Ch; Lundgren, L. "Biología La dinámica de la

- vida”, Ed. McGraw-Hill. México, D.F., 2000. pp 250-259.
- Karp, G. “Biología Celular y Molecular”, Ed. McGraw-Hill Interamericana. México, D.F., 1998. pp 171-184.
  - Solomon, E. P; Berg, L. R; Martin, D. W. “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 5ª ed. México, D.F., 2001. pp 156-176.

## Práctica de Laboratorio

### Extracción de Pigmentos Fotosintéticos

#### Introducción.

Los cloroplastos son organelos presentes en plantas, algas y algunos protozoarios, en ellos tiene lugar la fotosíntesis, proceso en el que se transforma la energía lumínica en energía química, almacenada en moléculas de ATP y NADPH, que se utilizarán posteriormente para sintetizar moléculas orgánicas. De este proceso dependen una gran cantidad de cadenas alimenticias en el planeta, dado que se les considera como productores de la biomasa que fluye hacia los siguientes niveles tróficos.

Las células fotosintéticas de las plantas superiores contienen dos tipos de clorofila. Una siempre es la clorofila **a** y la segunda, en muchas especies es la clorofila **b** que posee un grupo aldehído en lugar de un grupo metilo unido al anillo II. Aunque ambas son verdes sus espectros de absorción son ligeramente diferentes. La mayor parte de las plantas

superiores contienen unas dos veces más clorofila **a** que **b**.

Además de la clorofila, que presenta una coloración verde, las membranas tilacoides del cloroplasto presentan otros pigmentos secundarios, entre los que están diversos carotenoides (amarillos, rojos o púrpura) y ficobilinas (rojos, marrones o azules). Los carotenoides incluyen  $\beta$  caroteno de color anaranjado y a las xantofilas amarillas. Por su parte, las ficobilinas pueden ser rojas como en la ficoeritrina o azul como en la ficocianina. La cantidad en que se encuentran presentes en los organismos autótrofos determina el color y la intensidad del mismo, debido a esto podemos observar variación de tonos verdes en las hojas de diferentes plantas o los tonos de diversos colores que tienen numerosas flores y frutos.

#### Objetivo

- Que el alumno identifique los diferentes pigmentos que intervienen en el proceso de fotosíntesis en la planta de espinaca.

#### Material

- Dos hojas de papel filtro
- Una parrilla eléctrica
- Un embudo de decantación (separación)
- Cuatro tubos de ensaye grandes
- Un vaso de precipitado de 100 ml.
- Dos probetas graduadas de 10 ml.
- Un matraz Earlen Mayer de 200 ml.
- Una gradilla
- Un embudo
- Un agitador

- Unas tijeras
- 2 pinzas de plástico para ropa
- Una barra de plastilina

### **Substancias**

- Alcohol etílico
- Alcohol metílico
- Éter de petróleo
- Solución concentrada de hidróxido de potasio

### **Organismos**

- Hojas de espinaca

### **Procedimiento**

- Revisar que el lugar de trabajo y todo el material de cristalería estén limpios
- En el matraz se colocan las hojas de espinaca en trozos.
- Añadir 50 ml. de alcohol etílico y calentar suavemente (sin que llegue a hervir).
- Esperar a que las hojas tomen color blanco.
- Pasar la solución al vaso de precipitado por filtración.
- En un tubo de ensaye colocar 10 ml. de éter de petróleo y agregar 5 ml. de la solución filtrada anteriormente y agitar.
- Tomar 5 ml. de esta nueva solución y ponerla en otro tubo de ensaye y añadir 2.5 ml. de solución concentrada de hidróxido de potasio.
- Añadir de uno en uno 7 ml. de agua agitando fuertemente en cada ocasión y dejar reposar durante 15 minutos. Aparecerán dos capas, la primera con carotenos y xantofilas y la otra con clorofilas.

- Colocar la solución en el embudo de decantación y separar la capa inferior en un tubo de ensaye.
- Añadir 10 ml. de éter de petróleo y 10 ml. de alcohol metílico, agitar fuertemente y dejar reposar. Aparecerán dos capas la superior de xantofilas y la inferior de carotenos.
- La solución que quedo en el embudo de decantación se mide con la probeta y se pasa a un tubo de ensaye, se le añade una cantidad similar de alcohol etílico y se deja reposar durante 5 minutos, aparecerán dos capas la superior de clorofila **b** y la inferior de clorofila **a**.

### **Cromatografía**

- Se corta una tira de papel filtro de 3cm. de ancho por 10 de largo y se introduce uno de los extremos en el vaso de precipitado que contiene la solución filtrada
- La tira de papel filtro se sostiene con las dos pinzas para ropa, procurando que no toque el fondo del vaso ni las paredes
- Se deja reposar entre 30 y 50 minutos dentro del vaso, hasta que los diferentes pigmentos se distingan en el papel, se retira y se deja secar.

### **Identificación de los pigmentos de la espinaca**

- Clorofila **a** – color verde fuerte o verde azulado
- Clorofila **b** – color verde amarillento
- Carotenos – color anaranjado
- Xantofilas – color amarillo

## Resultados

- Esquematiza el procedimiento que se usó.
- Dibuja los cambios que ocurrieron paso a paso.
- Compara tu cromatografía con las de tus compañeros y si hay diferencias discutan porque.
- Elabora un reporte de la práctica realizada.

## Cuestionario

1. ¿Cómo se llaman los pigmentos que dan el color rojo, naranja, amarillo y verde a las plantas?
2. ¿En qué parte de las células de las plantas se encuentran los pigmentos verdes?
3. ¿Cuáles son los productos resultantes del proceso de fotosíntesis?
4. ¿A partir de qué compuesto se forma el oxígeno que es liberado por las plantas, en el proceso de fotosíntesis?
5. ¿Qué compuesto químico requieren las plantas para la elaboración de carbohidratos, como resultado del proceso de fotosíntesis?

## Conclusiones

- Serán hechas por los estudiantes al terminar la actividad

## Bibliografía

- Lehninger, Albert, Nelson, David y Cox, Michael; **Principios de Bioquímica** Ed. Omega, 2<sup>da</sup> ed., España, 1993, pp
- <http://www.Arrakis.Es/lluengo/cloroplastos.html>

- <http://www.arrakis.es/lluengo/cromatografia.html>
- <http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=secciones.Visualiza>
- [http://www.jpimentel.com/ciencias\\_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la\\_ciencia\\_a](http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la_ciencia_a)

## Práctica de Laboratorio

### Extracción y Aislamiento del ADN de Células Animales y Vegetales

#### Introducción

El conocimiento actual de los ácidos nucleicos, es producto del trabajo de un gran número de investigadores como: **F. Meisher** que en 1869, trabajaba con núcleos de leucocitos en el laboratorio de Hooppe Seyler en Tubinga, Alemania, cuando aisló una sustancia ácida que llamo “**nucleína**” y que más adelante se conocería como **ácidos nucleicos**, además demostró la presencia de fósforo en esta molécula. Posteriormente, en 1874 **Piccard** comprueba que en el ácido nucleico del esperma de salmón se encuentran las bases púricas adenina y guanina.

Más tarde, entre 1878 y 1905 **Albrecht Kossel** descubrió un carbohidrato en el ácido nucleico de células de levadura, además de las bases pirimídicas timina y citosina en el ácido nucleico del timo, pero aún con todos estos conocimientos su función fue establecida hasta la década de 1940 por **Avery MacLeod y McCarty**, quienes demostraron que los

ácidos nucleicos y especialmente el ADN era el responsable de llevar la información hereditaria, durante esta misma época, **Levene** comprobó que los dos ácidos nucleicos (ADN y ARN), estaban presentes tanto en los vegetales como en los animales. En 1953 **James Dewey Watson** y **Francis Compton Crick** descubrieron la estructura molecular del ADN, que consistía en una doble hélice (escalera de caracol), que les mereció recibir el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1962.

Para estudiar al ADN es imprescindible aislarlo e identificarlo. Existen diferentes métodos de aislamiento dependiendo del tipo de estudio o investigación que se realice, sin embargo todos comparten el hecho de que debido a que la molécula se encuentra en el interior de estructuras de tipo membranoso y asociada con moléculas de proteínas, hay que usar sustancias adecuadas para obtener al ADN de la forma más purificada posible.

Esta técnica se basa en el principio de que el componente fundamental de las membranas, plasmática y nuclear, son los lípidos, entonces se utiliza un detergente (surfactante) para romper estas estructuras y permitir la salida del ADN. Por otro lado, el ADN de vegetales y animales se encuentra asociado a proteínas de tipo histonas, por lo tanto, al agregarle alcohol lo que se espera es que se precipiten las proteínas y entonces obtener al ADN como una estructura más pura, Finalmente, se sabe que el ADN es una molécula de carácter ácido lo que permite ser identificada con colorantes específicos como el anaranjado de acridina.

## Objetivo

Que el alumno compruebe la presencia de ADN en células vegetales y animales

## Material

- Dos tubos de ensayo grandes
- Una varilla de vidrio
- Una probeta de 50 ml.
- Un mortero
- Dos portaobjetos
- Dos cubreobjetos
- Una balanza eléctrica
- Una caja de petri
- Una navaja
- Una aguja de disección
- Unas pinzas de disección
- Una coladera
- Un vaso de precipitado de 50 ml.
- Un microscopio óptico.
- Toallitas de papel
- Jabón, escobillón y franela

## Substancias

- Desoxicolato de Sodio (1 gr. disuelto en 60 ml. de agua destilada) o detergente Roma.
- Etanol frío al 95%.
- Agua Destilada.
- Anaranjado de acridina.

## Organismos

- 5 gr. de hígado de pollo o ternera
- 10 gr. de chícharos

## Procedimiento

- Revisar que el lugar de trabajo y todo el material de cristalería estén limpios

- Cortar dentro de la caja de petri con la navaja el hígado
- Pesar 5 gr. de hígado y tritularlo en el mortero con 5 ml. de agua destilada
- Con la ayuda de la coladera separar el líquido obtenido de la trituration y ponerlo en un tubo de ensaye.
- Agregar al tubo de ensaye 20 ml. de desoxicolato de sodio agitando suavemente con la varilla de vidrio.
- Agregar lentamente 20 ml. de etanol frío y agitar suavemente en forma rotatoria, y esperar de dos a cinco minutos para observar unos filamentos blanquecinos que es la manera como se observa el ADN extraído por esta técnica.
- Con la ayuda de la aguja de disección pasar algunos filamentos a un portaobjetos y añadir 1 o 2 gotas de anaranjado de acridina, colocar el cubre objetos y observar con el objetivo de 40X.
- Repetir los pasos anteriores pero ahora con 10 gr. de chicharos
- Se lava todo el material que se utilizó y se limpia la mesa de trabajo.

### Resultados

- Esquematiza el procedimiento que se uso.
- Dibuja lo que observaste.
- Compara tus dibujos con los de tus compañeros y si hay diferencias discutan porque.
- Elabora un reporte de la práctica realizada.

### Cuestionario

1. ¿Quién aísla por primera vez a los ácidos nucleicos?

2. ¿Qué carbohidrato forma parte de la molécula de ADN?
3. Menciona el nombre de las bases nitrogenadas que forman parte del ADN.
4. ¿Qué nombre reciben las subunidades que forman a los ácidos nucleicos?
5. ¿Cuántos tipos de ácidos nucleicos se conocen y que nombre reciben?

### Conclusiones

- Se hará una comparación de los resultados obtenidos por el grupo para llegar a conclusiones.

### Bibliografía

- Arambarri, G. R., López, M. R., Médicis, V. A., Rodríguez, A. J., Torre, J: J. (1998). Paquete Didáctico de Genética para Biología I y II, Laboratorio LACE, SILADIN. CCH-Oriente. UNAM pp: 85-91.
- Mendiola, R. G., (1999). Aislamiento del ADN en células animales y vegetales. Actividad Experimental. CCH-Naucalpan, UNAM.

## Elaboración de un Modelo de una Proteína (Lisozima)

### Introducción

La lisozima es una enzima relativamente pequeña que la podemos encontrar en la clara del huevo, está constituida por una sola cadena polipeptídica de 129 aminoácidos, en 1965 David Phillips determinó la estructura tridimensional de ésta,

aunque fue Alexander Fleming en 1922 quien la descubre en una gota de fluido nasal y en las lágrimas, le da el nombre de lisozima, debido a su capacidad para lisar (liso) las bacterias y porque era una enzima (zima). Fleming descubre que esta enzima no era eficaz contra la mayoría de las bacterias peligrosas.

La estructura primaria de la lisozima es una cadena polipeptídica sencilla que contienen 129 aminoácidos con cuatro pares de cisteínas que establecen enlaces covalentes de azufre entre las posiciones 6 y 127, 30 y 115, 64 y 80, y 76 y 94, esto nos indica que la cadena debe doblarse de una manera que permita que las cisteínas se encuentren en estrecha proximidad.

### Objetivos

- Que el alumno elabore un modelo, para que comprenda la importancia que tiene el número y secuencia de los aminoácidos, la forma, los enlaces y estructura de una proteína.
- Que el alumno comprenda la importancia que tiene la estructura de una proteína en el funcionamiento de esta.

### Material

- Dos cartulinas blancas
- Unas tijeras
- Veinte plumones de colores diferentes
- Un pincel
- Resistol blanco
- Masking tape
- Una regla
- Modelo de la lisozima

### Procedimiento

- Se cortan 129 círculos de cartulina de aproximadamente 1cm. de diámetro, los cuales representaran a los aminoácidos que en este caso son

Lisina (Lis) = 6

Valina (Val) = 6

Fenilalanina (Fen) = 3

Glicina (Gli) = 12

Arginina (Arg) = 11

Cisteína (Cis) = 8

Ácido glutámico (Glu) = 2

Leucina (Leu) = 8

Alanina (Ala) = 12

Metionina (Met) = 2

Histidina (His) = 1

Ácido aspártico (Asp) = 8

Asparagina (Asn) = 13

Tirosina (Tir) = 3

Serina (Ser) = 10

Triptófano (Tri) = 6

Treonina (Treo) = 7

Glutamina (Gln) = 3

Isoleucina (Ileu) = 6

Prolina (Pro) = 2

- A cada círculo de cartulina se le asignan las iniciales del aminoácido que representa por ejemplo, seis círculos tendrán Lis, ocho círculos Cis y así sucesivamente hasta completar las 129
- Se asignará un color de plumón para cada aminoácido para poder identificarlos más fácilmente.
- Se pega una cartulina sobre la mesa con Masking Tape para que no se mueva, y se procede a pegar los círculos que representan a los aminoácidos en el orden y forma que indica el modelo de la proteína,

para esto se utiliza el pincel y el resistol.

- Ya que se terminaron de pegar los aminoácidos, con un plumón negro se indican los puentes de azufre (-S-S-), el inicio de la proteína en el grupo amino (NH<sub>2</sub>) y el término en el grupo carboxilo (COOH)
- Los aminoácidos se pueden numerar de uno en uno o de diez en diez partiendo de la lisina (1) y terminando con la leucina (129)

### **Resultados**

- Los estudiantes entregaran el modelo que hagan de la proteína
- Resolverán un cuestionario que contiene preguntas generales sobre el tema.

### **Cuestionario**

1. ¿En qué alimentos podemos encontrar a la lisozima?
2. ¿Cuántos puentes de -S-S- podemos encontrar en la lisozima?
3. ¿Cuál es el aminoácido que más se repite en el modelo que construyo?
4. ¿Cuál es el aminoácido que menos se repite en el modelo que construyo?
5. ¿Mencione tres causas por las cuales una proteína puede desnaturalizarse?

### **Conclusiones**

- Serán hechas por los estudiantes al terminar la actividad

### **Sugerencias**

- Se pueden utilizar otras proteínas para hacer el modelo como son la

insulina, la ribonucleasa bovínica, el quimotripsinogeno etc.

- Se sugiere que los estudiantes ya traigan el material preparado y solo se arma la proteína en el laboratorio.
- Si se desea se pueden pintar los círculos que representan a los aminoácidos con el color que se le asigno a cada uno.

### **Bibliografía**

- Alberts, B; Bray, D. et al. “Biología Molecular de la Célula”, Ed. Omega, 3<sup>a</sup> ed. Barcelona España, 1996, pp. 541-552.
- Stryer, L. “Bioquímica”, Ed. Reverté, S.A. 4<sup>a</sup> ed. Barcelona España, 1995, pp. 207-212.



## Sugerencias de actividades de aprendizaje.

A continuación se ponen a su consideración una serie de actividades didácticas con el fin de facilitar una mejor comprensión de los temas de metabolismo, respiración, replicación del ADN y síntesis de proteínas por parte de los alumnos.

Realizar las prácticas de laboratorio que contiene el capítulo.

Leer, analizar y discutir en equipos y con todo el grupo este capítulo.

Proyección de los siguientes documentales:

<b>Título</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
* Respiración	VHS 838 A	20 Min.
* Respiración (célula y energía)	VHS 1212 A	10 Min.
* Glucólisis I	VHS 1212 C	10 Min.
* Glucólisis II	VHS 1212 B	11 Min.
*Respiración (ciclo de Krebs)	VHS 1173 A	10 Min.
* Respiración (cadena respiratoria)	VHS 1173 B	11 Min.
* Respiración (metabolismo y nutrición)	VHS 1173 C	12 Min.
* EL ADN, la célula viva		

Elaborar un cuadro comparativo entre la respiración anaerobia y la aerobia.

Elaborar un cuadro comparativo entre las vías anabólicas y catabólicas.

Realizar ejercicios sobre replicación, transcripción y traducción de una secuencia de nucleótidos o a partir de una cadena polipeptídica.

Resolver los cuestionarios y el respiracrucigrama.

## Actividades de evaluación

### Cuestionario de autoevaluación Respiración

**Instrucciones:** Lee detenidamente y selecciona la respuesta correcta.

1.- ¿Al conjunto de reacciones bioquímicas que realizan las células se le conoce cómo? ( )

- a) metabolismo
- b) respiración
- c) replicación
- d) mitosis

2.- ¿Al proceso metabólico que degrada las moléculas grandes en pequeñas se conoce como? ( )

- a) catabolismo
- b) entropía
- c) homeostasis
- d) biosíntesis

3.- El principio que dice: “la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”, corresponde a: ( )

- a) principio de entropía
- b) principio de conservación
- c) principio de normalidad
- d) principio energético

4.- ¿La ciencia que se encarga de estudiar todas las transformaciones e intercambios de energía que realizan los organismos se le llama? ( )

- a) biología molecular
- b) física cuántica
- c) biofísica
- d) bioenergética

5.- ¿Las etapas de la respiración aerobia son? ( )

- a) glucólisis, formación de acetil CoA, ciclo de Krebs
- b) glucólisis, formación de acetil CoA, ciclo de krebs, cadena respiratoria

c) glucólisis, formación de acetil Co A, ciclo de Krebs, cadena respiratoria.

d) glucólisis, fermentación, ciclo de Krebs, cadena respiratoria.

6.- ¿En qué parte de la célula se lleva a cabo la glucólisis? ( )

- a) mitocondria
- b) matriz mitocondrial
- c) membrana tilacoidal
- d) citoplasma

7.- ¿La molécula encargada de atrapar y almacenar energía útil proveniente de alimentos y es usada en los procesos celulares es? ( )

- a) NADP
- b) ATP
- c) sacarosa
- d) FAD

8.- ¿Cómo se llama la molécula de 3 carbonos que se forma durante la glucólisis y pasa al ciclo de Krebs? ( )

- a) piruvato
- b) lactato
- c) citrato
- d) glucosa 6 fosfato

9.- ¿En qué parte de la mitocondria se lleva a cabo el ciclo de Krebs? ( )

- a) citosol
- b) membrana mitocondrial
- c) matriz mitocondrial
- d) crestas mitocondriales

10.- ¿La fermentación es un proceso?

- a) heterótrofo ( )
- b) aerobio
- c) osmótico
- d) anaerobio

11.- ¿Cuántas moléculas de ATP se forman en la respiración aerobia por cada molécula de glucosa? ( )

- a) 2
- b) 36-38

- c) 4
- d) 24

12.- ¿Cuáles son los posibles productos obtenidos en la fermentación? ( )

- a) alcohol
- b) ácido láctico
- c) CO<sub>2</sub>
- d) todos los anteriores

13.- ¿Cómo se le llaman a los organismos que tienen cierta tolerancia al oxígeno?

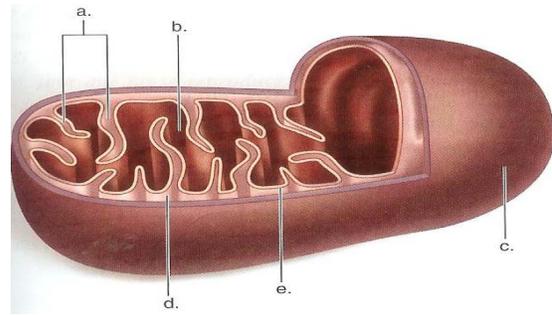
- a) anaerobios ( )
- b) aerobios
- c) anaerobios facultativos
- d) autótrofos

14.- ¿A la capacidad de ciertas membranas para usar un gradiente iónico de hidrógeno y dar lugar a ATP, se conoce como? ( )

- a) quimiosmosis
- b) fotosíntesis
- c) glucólisis
- d) fermentación

15.- ¿Cuál es el nombre de las estructuras indicadas en el esquema y cuál es su función?

- a: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- b: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- c: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- d: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- e: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_



### Cuestionario de autoevaluación Fotosíntesis

**Instrucciones:** Lee detenidamente y selecciona la respuesta correcta.

1.- ¿Cómo se le llama al proceso por el cual se transforma la energía luminosa en energía química? ( )

- a) respiración
- b) catabolismo
- c) fotosíntesis
- d) degradación

2.- ¿A los organismos que fabrican sus propios alimentos, se les conoce cómo?

- a) heterótrofos ( )
- b) aerobios
- c) quimiosmóticos
- d) autótrofos

3.- ¿Los organelos celulares encargados de realizar la fotosíntesis son? ( )

- a) cloroplastos
- b) mitocondrias
- c) estomas
- d) ribosomas

4.- ¿En qué parte se lleva a cabo el ciclo de Calvin? ( )

- a) grana
- b) estroma

- c) tilacoide
- d) espacio intermembrana

5.- ¿En qué etapa de la fotosíntesis se sintetizan los carbohidratos? ( )

- a) fase fotoindependiente
- b) fase luminosa
- c) fase productiva
- d) fase fotodependiente

6.- ¿En qué fase se lleva a cabo la fotólisis? ( )

- a) fotodependiente
- b) fotoindependiente
- c) intermedia
- d) Calvin

7.- ¿Qué estructuras llevan a cabo el intercambio de gases en las plantas? ( )

- a) cloroplastos
- b) estomas
- c) xilema
- d) tilacoides

8.- ¿De dónde proviene el oxígeno que eliminan las células vegetales? ( )

- a) glucosa
- b) CO<sub>2</sub>
- c) H<sub>2</sub>O
- d) clorofila

9.- ¿En qué estructura se lleva a cabo la fase fotodependiente de la fotosíntesis?

- a) membrana del tilacoide ( )
- b) grana
- c) estroma
- d) membrana interna

10.- ¿Cuántos fotosistemas poseen los cloroplastos? ( )

- a) 4
- b) 3
- c) 6
- d) 2

11.- ¿Un fotosistema contiene? ( )

- a) pigmentos fotosintéticos y agua

- b) centro de reacción y CO<sub>2</sub>
- c) pigmentos fotosintéticos. Centro de reacción y aceptores de electrones
- d) aceptores de electrones, H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>

12.- ¿El carbono que contiene la glucosa quién lo aporta? ( )

- a) sales minerales
- b) CO<sub>2</sub>
- c) ATP
- d) NADPH

13.- A) Con los compuestos que a continuación se enumeran, seleccionar el inciso correcto. B) Acomodarlos para formar la reacción general de la fotosíntesis. ( )

- a) 6 H<sub>2</sub>O, 5 CO<sub>2</sub>, 5 O<sub>2</sub> y 6 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>
- b) 6 CO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, 6O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O
- c) 6 O<sub>2</sub>, 6 ATP, 6 H<sub>2</sub>O y C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>
- d) C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, 6 CO<sub>2</sub>, 6 O<sub>2</sub> y 6 H<sub>2</sub>O

B) \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ → \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_

14.- ¿Durante la fase fotodependiente la luz captada se transforma en energía química que se transfiere a? ( )

- a) ATP y clorofila
- b) rubisco y NADPH
- c) ATP y NADP
- d) plastocianina y ADP

## Cuestionario de autoevaluación ADN y Síntesis de proteínas

**Instrucciones:** Lee cuidadosamente las preguntas y escoge la respuesta correcta.

- ¿Cuántos tipos de ácidos nucleicos se conocen? ( )
  - ATP y AND
  - ARN y ATP
  - ADN y ARN
  - ATP y ADP
- ¿Qué nombre recibe el proceso en el cual el ADN se copia? ( )
  - Transcripción
  - Traducción
  - Desifrar
  - Replicación
- ¿Cómo se llaman las unidades hereditarias que contienen al ADN? ( )
  - Genes
  - Núcleo
  - Nucleolo
  - Cromatina
- ¿Según la regla de Chargaff la Adenina con quien es complementaria en el ADN? ( )
  - Guanina
  - Timina
  - Adenina
  - Uracilo
- ¿Qué sentido tiene la cadena molde del ADN en donde se inicia la replicación continua? ( )
  - $3' \rightarrow 5'$
  - $5' \rightarrow 3'$
  - $5' \rightarrow 5'$
  - $3' \rightarrow 3'$
- ¿La cadena de ADN en formación qué sentido tiene? ( )
  - $3' \rightarrow 5'$
  - $5' \rightarrow 3'$
  - $5' \rightarrow 5'$
  - $3' \rightarrow 3'$
- ¿De qué ácido nucleico forma parte el azúcar Ribosa? ( )
  - AND
  - ADN
  - ARN
  - ATP
- ¿Qué nombre recibe el proceso de elaboración de una cadena de ácido ribonucleico a partir de un molde de ADN? ( )
  - Transcripción
  - Traducción
  - Desifrar
  - Replicación
- ¿Cuáles son los tipos de ARN que hay? ( )
  - ARN, ARN<sub>m</sub>, ARN<sub>r</sub>
  - ARN<sub>m</sub>, ARN<sub>r</sub>, ARN<sub>t</sub>
  - ARN<sub>p</sub>, ARN<sub>m</sub>, ARN<sub>r</sub>
  - ARN<sub>t</sub>, ARN<sub>m</sub>, ARN<sub>c</sub>
- ¿En qué sentido se realiza la síntesis de la cadena de ARN<sub>m</sub>? ( )
  - $3' \rightarrow 5'$
  - $5' \rightarrow 3'$
  - $5' \rightarrow 5'$
  - $3' \rightarrow 3'$
- ¿Qué nombre reciben los nucleótidos del ARN<sub>m</sub> agrupados en secuencias de tres? ( )
  - Anticodón
  - Secuencias
  - Codón
  - Replicon
- ¿Qué nombre reciben las secuencias de tres bases del ARN<sub>t</sub> que reconocen un codón específico? ( )
  - Anticodón
  - Secuencias

- c) Codón  
d) Replicones
13. ¿De cuántas subunidades están formados los ribosomas? ( )  
a) Cuatro  
b) Seis  
c) Cinco  
d) Dos
14. ¿De los siguientes codones, identifica cuáles son de término?  
a) UAA, UGA, UAG ( )  
b) CCU, CAU, GGU  
c) GUU, ACG, CAG  
d) UUU, CUG, AUU
15. Las etapas de iniciación, alargamiento y terminación, forman parte del proceso de: ( )  
a) Transcripción  
b) Traducción  
c) Elongación  
d) Desenrollamiento
5. Hacer un esquema con nombres de las estructuras de la mitocondria
6. ¿En qué estructura de la mitocondria se realiza la cadena de transporte de electrones?
7. ¿Cuál es el nombre del complejo enzimático que participa en la síntesis del ATP, durante la quimiósmosis?
8. ¿Cuántas moléculas de NADH se producen durante el ciclo de Krebs, por molécula de glucosa?
9. ¿Cuántas moléculas de ATP se generan durante la respiración aerobia?
10. De manera general el metabolismo se divide en dos grupos; ¿Cuáles son?
11. ¿En qué organelo celular se lleva a cabo la fotosíntesis?
12. ¿De cuántas fases consta el proceso de la fotosíntesis?
13. ¿Cuál es la fórmula general de la fotosíntesis?
14. A partir de la siguiente secuencia de ARN<sub>m</sub>, obtén la secuencia de la molécula de ADN y la secuencia de aminoácidos de la cadena polipeptídica e indica el sentido de cada cadena.

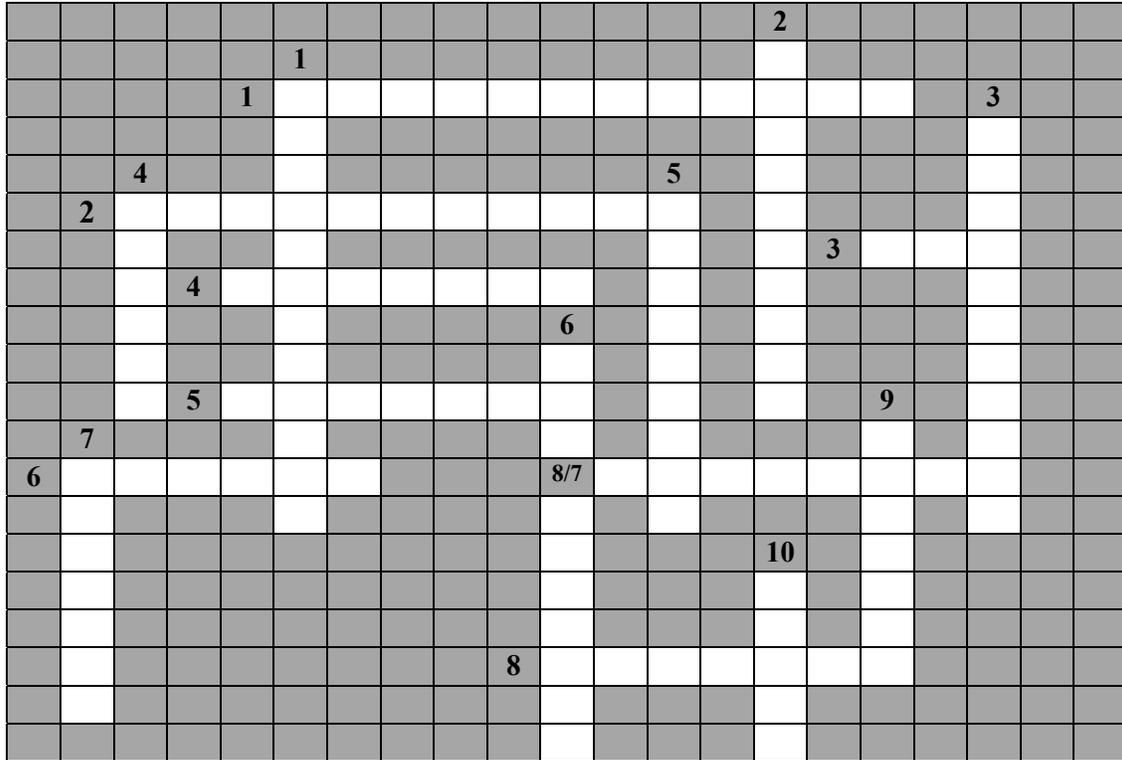
UAAUUUGUCCCUACUAUAGUCGUAUG

### **Cuestionario de preguntas abiertas**

**Instrucciones: Escribe la respuesta correcta a cada pregunta.**

1. ¿Cuál es la función de la respiración celular para los seres vivos?
2. ¿En cuántas etapas se divide la respiración aerobia?
3. ¿Cuáles son los productos que se generan a través de la glucólisis?
4. ¿Cuántos tipos de fermentación existen y cuáles son?
15. Define que es un codón y un anticodón

# RESPIRACION RESPIRACION CRUCIGRAMA



## HORIZONTALES

1. ¿Con qué otro nombre se le conoce a la respiración anaerobia?
2. El organelo donde se realiza la etapa aerobia de la respiración es:
3. La molécula que se obtiene como energía química durante la respiración es:
4. La molécula que se forma durante la unión del oxalacetato con el acetil se llama:
5. El organismo que requiere oxígeno para degradar sus alimentos se conoce como:
6. La molécula que entra al ciclo del ácido cítrico es:
7. Como se llama la molécula generada durante la glucólisis que posee 3 carbonos:
8. La molécula gaseosa liberada durante la fotosíntesis es él:

## VERTICALES

1. ¿Qué nombre recibe el proceso biológico que transforma la energía luminosa en energía química?
2. ¿Cuál es el lugar de la célula donde se realiza la glucólisis?
3. El proceso biológico que permite desdoblar moléculas alimenticias para obtener energía recibe el nombre de:
4. ¿Cuál es el compartimiento más interno de la mitocondria?
5. ¿Qué tipo de respiración es el que no necesita de oxígeno?
6. ¿Cuántos ATP se producen en la fermentación?
7. ¿Cuál es el nombre de la molécula con 2 carbonos que es el producto final de la fermentación?
8. El monosacárido de 6 carbonos que se utiliza por lo regular en la glucólisis es:
9. Las moléculas que producen las células musculares durante la respiración anaerobia y que provoca dolor se llama:
10. ¿Cuál es el nombre del científico británico que descubrió el ciclo del ácido cítrico?

## Glosario

- **Aminoácidos:** Moléculas compuestas con un grupo funcional carboxílico o ácido y con un grupo amino. Son las unidades monoméricas que constituyen a las proteínas como aceptor electrónico.
- **Aerobio:** Organismo que requiere oxígeno Terminal en la respiración.
- **Aminoacil-ARN:** Este aminoacil de un ARN de transferencia, es una molécula de ARN, que posee un aminoácido que tienen la propiedad de ceder o aceptar.
- **Anabolismo:** Fase del metabolismo intermediario que se ocupa de la biosíntesis dependiente de energía de los componentes celulares a partir de precursores pequeños.
- **Anaerobio:** Organismo que vive en ausencia de oxígeno. Los anaerobios estrictos mueren al entrar en contacto con el oxígeno.
- **Anticodón:** Secuencia específica de tres nucleótidos en el ARN<sub>t</sub> complementaría a un codón de un aminoácido en un ARN<sub>m</sub>.
- **Antiparalelo:** Describe dos polímeros con polaridad u orientación opuestas.
- **Bicatenario:** Se refiere al material genético compuesto por ADN constituido por una doble cadena.
- **Biomolécula:** Compuestos orgánicos presente como compuesto esencial de seres vivos.
- **Catabolismo:** Fase del metabolismo intermediario, relacionado con la degradación de moléculas de nutrientes que producen energía.
- **Catalítico:** Perteneciente o relativo a catálisis (transformación química realizada por enzimas).
- **Cebador:** Oligómero corto (de azúcares o nucleótidos) a los que el enzima adiciona nuevas subunidades monoméricas.
- **Cianobacterias:** Microorganismos fotosintéticos procariontes, que poseen clorofila y producen oxígeno durante la fotosíntesis.
- **Citocromo:** Proteínas hem que contienen hierro y participan en un sistema de transporte de electrones.
- **Citoplasma:** Porción de una célula fuera del núcleo pero dentro de la membrana plasmática, incluye los organelos celulares.
- **Codificar:** Transformar mediante las reglas de un código la formulación de un mensaje.
- **Código genético:** Conjunto de palabras codificadas en forma de tripletes en el ARN<sub>m</sub>, que codifica a los aminoácidos de las proteínas.
- **Codón:** Secuencia de tres nucleótidos adyacentes en un ácido nucleotídico que codifica un aminoácido específico.
- **Coenzima A:** Coenzima que contiene ácido pantoténico y que actúa como grupo transportador de acilo en ciertas reacciones enzimáticas.
- **Conferir:** Conceder, asignar a alguien dignidad, empleo, facultades o derechos.
- **Decodificar:** Descifrar una información codificada.
- **Descarboxilación:** Reacción en la que se extrae una molécula de CO<sub>2</sub> de un grupo carboxilo de un ácido orgánico.
- **Embebidas:** Encajar una cosa dentro de otra.
- **Enlace covalente:** Unión química en el que se comparten pares de electrones.
- **Entropía:** Cantidad de desorden de un sistema.
- **Enzima:** Biomolécula proteica o de ARN que cataliza una reacción química específica. No afecta al equilibrio de la reacción catalizada; aumenta la velocidad de reacción proporcionando una ruta de reacción con una energía de activación inferior.
- **Envés:** Cara posterior de una cosa plana y delgada, especialmente de una tela o de una hoja de una planta: en el envés de las hojas están los estomas.
- **Eucariota:** Organismo unicelular o pluricelular que posee células con núcleo.

rodeado por membrana; múltiples cromosomas y organelos.

- **Fosforilación:** Introducción de un grupo fosfato en una molécula orgánica.
- **Fotólisis:** Desdoblamiento fotoquímico de agua en las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis, catalizada por una enzima específica.
- **Gradiente de concentración:** Gradiente que existe a través de una membrana que separa una concentración elevada de un ion determinado de una concentración baja del mismo ion.
- **Gen:** Segmento de un cromosoma que codifica una sola cadena polipeptídica funcional.
- **Hidrofóbica:** Que no posee afinidad respecto al agua.
- **Hidrosoluble:** Se dice del cuerpo soluble en agua.
- **Homeostasis:** Ambiente interno equilibrado del cuerpo, tendencia automática de un organismo a mantener ese estado estable.
- **Horquilla de replicación:** Estructura en forma de Y, encontrada generalmente en el punto en que se está sintetizando en ADN.
- **Isomerizar:** Proceso de reordenación interna de los átomos de una molécula para obtener un isómero.
- **Intrincados:** Confundir los pensamientos o los conceptos, así como, enmarañar o enredar una cosa.
- **Metabolismo:** Conjunto completo de transformaciones catalizadas por enzimas de moléculas orgánicas en las células vivas.
- **Mol:** Una masa molecular gramo de un compuesto.
- **Molde:** Matriz o patrón molecular para la síntesis de una molécula informativa.
- **Monoméricos:** Sólo una variable regulada.
- **Núcleosoma:** Unidad estructural del empaquetamiento de la cromatina, consiste en una hebra de ADN enrollada

alrededor de un núcleo de proteínas del tipo 136histonas.

- **Osmótico:** Relativo a la ósmosis (fenómeno de difusión del agua a través de una membrana desde una región de mayor concentración, a otra de menor concentración de agua).
- **Parentales:** Perteneciente o relativo a los padres o a los parientes.
- **Polimerizar:** Producir la polimerización. Reacción que enlaza moléculas de escasa masa molecular (monómeros), formando compuestos de masa molecular elevada.
- **Polinucleótido:** Secuencias de nucleótidos unidos covalentemente.
- **Polipéptido:** Cadena larga de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.
- **Ribosoma:** Organelo compuesto por ARN<sub>r</sub> y proteínas que tiene aproximadamente de 18 a 22 nm de diámetro; sitio de la síntesis de proteínas.
- **Transcribir:** Copiar un escrito con el mismo o distinto sistema de escritura.
- **Transducción:** Generalmente se refiere a la conversión de energía de una forma a otra.
- **Xilema:** Tejido vascular que conduce agua y minerales disueltos en las plantas.

## Bibliografía

- Alberts, B. D., Brag et. al., Biología molecular de la célula, Ed. Omega, España, 3ª ed., 1996. pp. 1462.
- Biggs, A., Kapicka, Ch., Lundgren, L., Biología Dinámica de la Vida, Ed., Mc. Graw Hill, México, 2000. pp. 622.
- Campbell, N., Mitchell, L., Reece, J., Biología: Conceptos y relaciones. Ed. Pearson Educación, 3ª. ed. México, 2001. pp. 770.
- Curtis, H., Barnes, S. N., Biología, Ed., Medica Panamericana, España, 6ª ed., 2000. pp. 1487.

- Hagins, W., Biggs, A., Holliday W., et al., Biología, Ed. Glencoe McGraw-Hill. México, 2007. pp. 1080.
- Klug, S. W., Cummings, R. M., Conceptos de Genética, Ed., Printece Hall, España, 5ª ed., 1999.
- Karp, G., Biología Celular y Molecular, Ed., McGraw Hill Interamericana, México, 1998. pp. 746.
- Mader, S., Biología, Ed., Mc Graw Hill Interamericana, México, 9ª. ed., 2008. pp. 943.
- Nelson, D., Cox, M., Principios de Bioquímica, Ed. Omega, 3ª ed., Barcelona, España, 2001.
- Solomon, E. P., Berg, L. R., Martin, D. W., Biología, Ed., Mc Graw Hill, 5ª ed., México, 2001. pp. 1233.
- Starr, C., Targgart, R., Biología, Ed. Thompson, México, 2004. pp. 930.
- Tamarin. E. H. Principios de Genética, Ed., Reverté, S. A., 4ª ed., España, 1996. pp. 607.
- <http://omega.ile.edu.mx:3000/sites/ciencias/volumen3/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Metabolismo>
- [web.educastur.princast.es/.../INDICE.htm](http://web.educastur.princast.es/.../INDICE.htm)
- [www.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/imageneswww.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/imagenes](http://www.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/imageneswww.sabiduriadelcorazon.org/org/epanol/imagenes)
- [www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/](http://www.forest.ula.ula.ve/rubenhg/fotosintesis/)
- [www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm](http://www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm)
- [www.aldeaeducativa.com/imagenes/fotosintesis-1.gif](http://www.aldeaeducativa.com/imagenes/fotosintesis-1.gif)

- [www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm](http://www.educa.aragob.es/.../2%20-%20Capitulo%29.htm)

### Hoja de respuestas

#### Cuestionario de Respiración

- |       |       |
|-------|-------|
| 1.- a | 8.-a  |
| 2.- a | 9.-c  |
| 3.- b | 10.-d |
| 4.- c | 11.-b |
| 5.- c | 12.-d |
| 6.-d  | 13.-c |
| 7.-b  | 14.-a |

15.-

- crestas mitocondriales, cadena de transporte de electrones
- matriz mitocondrial, ciclo de Krebs
- membrana externa, límites con el exterior de la mitocondria
- espacio intermembrana, acumulación de hidrógenos+
- membrana interna, divide a la mitocondria en matriz y espacio intermembrana

#### Cuestionario de Fotosíntesis

- |           |   |
|-----------|---|
| 1.-c      | 7.-b  |
| 2.-d      | 8.-c  |
| 3.-a      | 9.-a  |
| 4.-b      | 10.-d   |
| 5.-d      | 11.-c   |
| 6.-a      | 12.-b   |
| 13.- A) d |   |
|           | B) $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ |
| 14.-c     |   |

#### Cuestionario de ADN y proteínas

- |       |        |
|-------|--------|
| 1.- c | 9.- b  |
| 2.- d | 10.- b |
| 3.- a | 11.- c |
| 4.- b | 12.- a |
| 5.- a | 13.- d |
| 6.- b | 14.- a |
| 7.- c | 15.- b |
| 8.- a |        |

## **Capítulo 4**

### ***Procesos de Reproducción***

***“Si quieres saber de paciencia y de fortaleza, frecuenta la compañía de los árboles”***

# ÍNDICE

	Pág.
• <b>Concepto e Importancia de la Reproducción</b>	<b>138</b>
• <b>Objetivos del Capítulo</b>	<b>139</b>
-Conceptos Previos	139
• <b>Ciclo Celular</b>	<b>139</b>
-Interfase	139
-Mitosis	143
• <b>Meiosis</b>	<b>147</b>
-Primera División Meiótica	150
-Segunda División Meiótica	151
• <b>Reproducción Asexual</b>	<b>155</b>
-Fisión Binaria	156
-Gemación	157
-Esporulación	158
-Fragmentación	159
-Reproducción Vegetativa	160
• <b>Reproducción Sexual</b>	<b>160</b>
-Hermafroditismo	163
-Partenogénesis	165
-Poliembrionía	167
• <b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>168</b>
• <b>Cuestionarios</b>	<b>174</b>
• <b>Glosario</b>	<b>176</b>
• <b>Bibliografía</b>	<b>177</b>
• <b>Hoja de Respuestas</b>	<b>179</b>

## Concepto e Importancia de la Reproducción

La vida está en constante riesgo y como consecuencia es fácil perderla, por lo que es necesario, tener un proceso que asegure la formación de nuevos organismos iguales o semejantes a ellos, que los sustituyan y este proceso es la **reproducción**, que al igual que otros, es vital y sin duda la realizan todos los organismos. Éste proceso biológico se ha llevado a cabo desde que aparecieron los primeros seres vivos, hace millones de años y su importancia radica en que garantiza la **continuidad** de la vida, de generación en generación.

Existen en la Tierra cientos de miles de especies de organismos diferentes y todas se reproducen, por cualquiera de las dos modalidades, ya sea por reproducción **asexual**, **sexual** o por ambas.

La reproducción asexual es simple y directa, se caracteriza por que en ella participa un solo progenitor que da origen a uno o más descendientes, que tienen la particularidad de ser idénticos genéticamente, además de numerosos, y la realizan principalmente los organismos unicelulares y algunos pluricelulares. Esta forma de reproducción es una adaptación de los organismos que viven fijos en algún sustrato, aislados o sus poblaciones son poco numerosas.

La reproducción sexual es compleja y a diferencia de la asexual, requiere de la presencia de **gametos masculinos y femeninos**, es decir, de células especializadas para la reproducción, así como, de otro proceso importante que

es la **fecundación** o unión de los gametos, para formar un **cigoto o huevo**, que da lugar a un nuevo organismo que posee una combinación de las características paternas y maternas. Esta forma de reproducción proporciona gran **variabilidad** a las especies, por consiguiente, una mayor capacidad de adaptación al medio ambiente.

Desde que Rudolf Virchow en 1858, dijo “**que todas las células provienen de otras preexistentes semejantes a ellas**”, quedó claro que las células se reproducen, por tanto, es fundamental conocer como se dividen, debido a que el número de células que están formando a los organismos varía, desde una hasta miles de millones. En la reproducción celular están involucrados dos procesos que son: la **mitosis** y la **meiosis**.

La mitosis es el mecanismo que da como resultado dos células con idéntico número de cromosomas y por lo tanto, las características que poseen, son iguales a la célula que les dio origen; la realizan principalmente las células somáticas, mientras que la meiosis la efectúan exclusivamente las células sexuales o gametos, ya que deben de tener la mitad del número de cromosomas típico de la especie y con la peculiaridad de tener diferentes combinaciones de características, por lo tanto, la llevan a cabo los óvulos y espermatozoides en animales y óvulos y granos de polen en plantas.

La mitosis es la que interviene en los procesos de desarrollo, crecimiento y regeneración de tejidos y órganos en organismos pluricelulares.

## Objetivos del Capítulo

### El Lector:

- Describirá el ciclo celular con una visión global en la que se destacarán los hechos básicos que tienen lugar a lo largo del mismo, en especial, los procesos de división celular por mitosis y meiosis.
- Comprenderá la importancia de los procesos de reproducción, como parte de lo que requiere un sistema para perpetuarse.
- Comprenderá los aspectos generales de la reproducción sexual y asexual y su importancia biológica.

**Conceptos previos:** cromosoma, ADN, replicación del ADN, cromatina, proteínas, ARN, centriolo, núcleo, células eucariotas, especie, nucleolo, centrosoma, centrómero, pared celular, citoplasma, histonas.

## Ciclo Celular

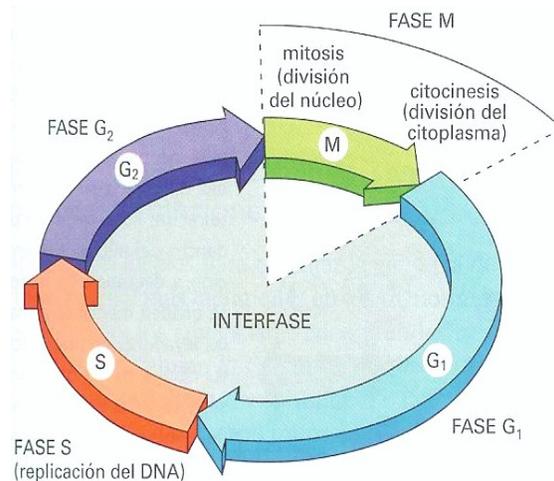
El ciclo celular en células eucariotas, incluye todas las actividades que realiza la célula entre una división celular y la siguiente; esta formado por una serie de pasos ordenados, que conducen a la célula a la duplicación de su contenido cromosómico para luego dividirse y distribuirlos entre las células hijas que serán idénticas (Fig. 4.1.). En éste proceso participan dos fases que son:

**A.- Interfase (I):** es la etapa que se localiza entre una división celular y la siguiente.

**B.- Mitosis (M):** incluye todos los eventos que realiza la célula durante la división celular y la citocinesis.

### Interfase

Esta etapa esta constituida por tres fases que son: la **G<sub>1</sub>** (la G viene del inglés gap que significa intervalo), enseguida es la **S** (síntesis) y por último, la fase **G<sub>2</sub>** (Fig. 4.1.). La duración de la interfase varía dependiendo del tipo de célula de que se trate y de los factores externos como la temperatura, la disponibilidad de nutrimentos, etc., pero en términos generales ocupa alrededor del 90 % del tiempo total requerido por el ciclo celular, por ejemplo, el ciclo de una célula de división rápida de mamífero es de 20 horas, de las cuales, tarda 4 horas en la fase G<sub>1</sub>, 10 horas en la fase S y 4 horas en la G<sub>2</sub>; el resto, casi dos horas es lo que invierte en la etapa de mitosis (M).



**Fig. 4.1. Ciclo celular, en el que se observa la interfase, con las fases G<sub>1</sub>, S y G<sub>2</sub>, así como, la etapa de la mitosis y citocinesis. Alberts, B. 2004.**

**Fase G<sub>1</sub>:** es la etapa con la que se inicia la interfase y se localiza entre la fase M y la S del ciclo celular, se caracteriza porque en el interior de la célula hay mucha actividad, debido a que se lleva a cabo la síntesis de una gran cantidad y variedad de moléculas como proteínas, lípidos, etc., como consecuencia, en esta etapa las células hijas incrementan notoriamente su volumen, ya que se originaron recientemente, así como, aumenta el número y tamaño de sus organelos, por ejemplo los ribosomas, entre otros y de ésta manera conservan las características de su tipo celular.

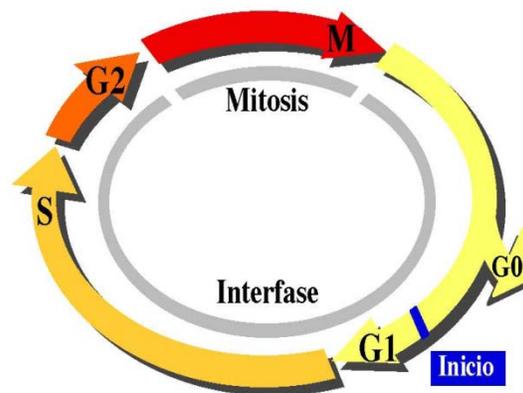
Otro evento que se lleva a cabo, es que el centríolo (cuando esta presente) inicia su duplicación en ésta etapa y la termina en G<sub>2</sub>. Por último, comprueba que el medio sea el adecuado para la proliferación, que el ADN no esté dañado y que reciba la señal de continuar con el proceso, siendo todo esto realizado antes de pasar a la fase S. (Fig. 4.1.)

Dependiendo del tipo de célula de que se trate, de las señales provenientes de otras células y de las condiciones extracelulares (pH, falta de nutrientes, cambios de temperatura, etc.), será el tiempo que dure ésta fase, pero en términos generales es la más larga del ciclo celular siendo, aproximadamente de la mitad de lo que tarda el ciclo completo.

Si las condiciones externas y las señales extracelulares no son favorables, las células retardan su paso a la fase S, dirigiéndose a una etapa de reposo especializado llamada G<sub>0</sub>, en la que pueden permanecer hasta que se den las condiciones adecuadas y pasen a la fase S o incluso, pueden mantenerse en G<sub>0</sub> hasta que muere el organismo o las

células (Fig. 4.2.). Algunas células muy especializadas entran a la fase G<sub>1</sub> y como no van a volverse a dividir, ingresan a la fase G<sub>0</sub>, donde comienza la diferenciación y ahí permanecen, por ejemplo, las neuronas, las células del músculo cardiaco y de los ojos, entre otras. (Tabla 4.2.)

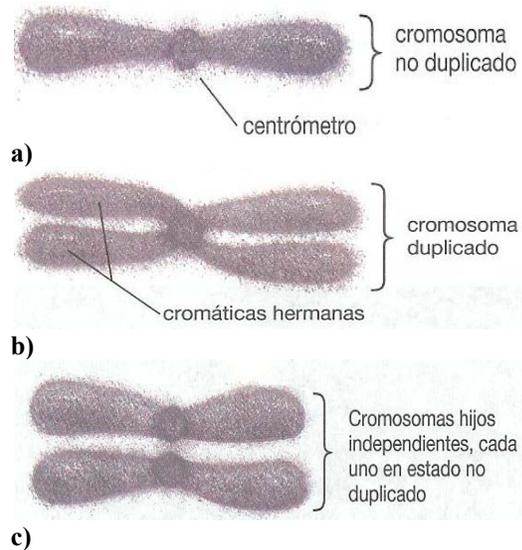
**Sabías que:** Hay células que no pierden su capacidad de reproducirse, pero sólo se dividen en ciertas circunstancias, como es el caso de las células hepáticas humanas, que solamente se dividen cuando se ha eliminado una porción de él y se detiene la producción de células nuevas, cuando el hígado ha recuperado su tamaño original.



**Fig. 4.2. Ciclo celular con la fase G<sub>0</sub> de la interfase.** [http://www.ciencia.cl/CienciasAlDia/volumen3/numero1/articulos/alzada/Figura\\_2.jp](http://www.ciencia.cl/CienciasAlDia/volumen3/numero1/articulos/alzada/Figura_2.jp)

**Fase S o de síntesis:** en esta se lleva a cabo la duplicación o replicación del ADN, es decir, que cada cromosoma sencillo se duplica, por lo tanto, esta formado por dos cromátidas que se denominan hermanas y se encuentran unidas por el centrómero (Fig. 4.3.); además, de que se elaboran muchas de

las histonas y otras proteínas asociadas al ADN.



**Fig. 4.3.** a) Cromosoma formado por dos brazos y su centrómero. b) Cromosoma duplicado en la etapa S, las dos copias o cromátidas hermanas están unidas por el centrómero. c) Después de la división las dos cromátidas hermanas se separan y dan lugar a un cromosoma hijo independiente. Audesirk T. 2008.

**Fase G<sub>2</sub>:** es la siguiente y última etapa de la interfase, que se inicia al terminar la replicación del ADN y concluye al iniciarse la mitosis, en la cuál, la célula ya tiene dos juegos completos de cromosomas (4n) y revisa que las condiciones, tanto internas como externas sean las adecuadas, además de que estén presentes todos los elementos necesarios para avanzar a la mitosis, así mismo, aumenta la síntesis de las proteínas indispensables para la división celular. (Fig. 4.1.)

En términos generales, en ésta etapa la célula se prepara para la siguiente fase que es la mitosis, es decir, para la división de la célula, llevando a cabo los siguientes procesos:

- Se concluye la división del centrosoma y los centriolos, que se colocan perpendicularmente uno con respecto al otro y se ubican cerca del núcleo.
- Empieza a formarse el huso mitótico, entre otras estructuras que intervendrán en la mitosis
- Al final, el ADN se empieza a condensar formando los cromosomas.

Todos los procesos que se llevan a cabo durante el ciclo celular, son estrictamente regulados por un **sistema de control del ciclo celular**, que determina que todos los eventos se realicen en el momento adecuado, en el orden correcto y una sola vez cada ciclo celular. En él participan principalmente las proteínas **reguladoras** conocidas como **ciclinas** (llamadas así porque regulan el ciclo celular), encontrándose en diferentes concentración en la célula a lo largo del ciclo.

Hay cuatro clases de ciclinas que son: G<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>/S, S y M, que actúan en diferentes momentos del ciclo celular. También se encuentran las **cdk** o **quinasas** (quinasas dependientes de las ciclinas) que necesitan de las ciclinas para activarse, ya que se unen a las quinasas y regulan su actividad. (Fig.4. 4.)

Las quinasas (Cdk) están presentes en las células eucariotas durante todo el ciclo celular y su actividad depende de la unión con diferentes ciclinas, formando el complejo Cdk-ciclina que induce el inicio de diferentes procesos del ciclo y a lo largo de éste actúan diferentes ciclinas, de acuerdo a la fase de que se trate. (Tabla 4.1)

<i>Quinasas</i>	<i>Ciclinas</i>	<i>Complejo</i>	<i>Etapa en que actúa</i>	<i>Proceso en el que Interviene</i>
<b>Cdk</b>	<b>G<sub>1</sub>/S</b>	<b>Cdk-G<sub>1</sub>/S</b>	<b>Al final de la fase G<sub>1</sub></b>	<b>Determina que la célula replique el ADN</b>
<b>Cdk</b>	<b>S</b>	<b>Cdk-S</b>	<b>Durante la fase S</b>	<b>Inicia la replicación del ADN</b>
<b>Cdk</b>	<b>M</b>	<b>Cdk-M</b>	<b>Se acumula en G<sub>2</sub></b>	<b>Inicia la mitosis</b>

Tabla 4.1. Se muestran los complejo Cdk-ciclina, que actúan en la regulación del ciclo celular y se muestra en que etapa y en que proceso intervienen.

El proceso se mantiene activo mientras este presente el correspondiente complejo (Cdk-ciclina), sin embargo, puede inactivarse al degradarse la ciclina quedando exclusivamente la Cdk y como consecuencia, el proceso se detiene, por ejemplo, el complejo Cdk-M desencadena la mayor parte de los cambios morfológicos que se producen en la célula y ésta actividad cesa cuando la ciclina es degradada. (Fig. 4.4)

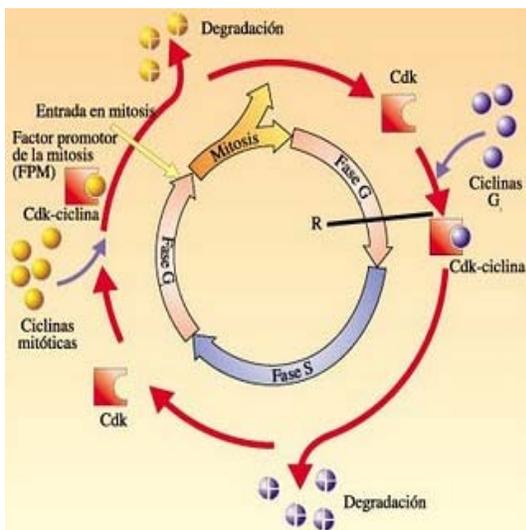


Fig. 4.4. Se muestran los complejos Cdk-G<sub>1</sub>/S y el Cdk-M, llamado “Factor promotor de la mitosis”, que induce los cambios necesarios para que se inicie ésta. Curtis H. 2001.

<b>Tiempo de vida en células humanas</b>		
<b>Tipo de célula</b>	<b>Tiempo de vida</b>	<b>División celular</b>
Recubrimiento del esófago	2–3 días	Pueden dividirse
Recubrimiento del intestino delgado	1–2 días	Pueden dividirse
Recubrimiento del intestino grueso	6 días	Pueden dividirse
Glóbulos rojos de la sangre	Menos de 120 días	No pueden dividirse
Glóbulos blancos de la sangre	10 horas hasta décadas	Muchos no pueden dividirse
Músculo liso	Longevas	Pueden dividirse
Músculo cardíaco (corazón)	Longevas	No pueden dividirse
Músculo esquelético	Longevas	No pueden dividirse
Neurona (célula nerviosa)	Longevas	La mayoría no puede dividirse

Tabla 4.2. Muestra el tiempo de vida de algunas células humanas. Miller, K. 2004.

**Sabías que:** El gene p53 que esta en el brazo corto del cromosoma 17, sintetiza la proteína p53 que detiene el ciclo celular, evitando que entre a la fase S cuando detecta daño en el ADN, obligando a la célula a autodestruirse (apoptosis). En cerca del 50% de los cánceres humanos existe una mutación en el gene p53, lo que permite que las células con el ADN dañado continúen dividiéndose.

## Mitosis

La mitosis (Gr. *mitos*-hilo, filamento) es el proceso de división nuclear que realizan las células, corresponde a la fase M del ciclo celular y se presenta después de la etapa G<sub>2</sub> de la interfase. (Fig. 4.5.)

El proceso de división celular o mitosis, juega un papel fundamental en el mantenimiento de la vida de un ser vivo, ya que por medio de éste procedimiento, los organismos multicelulares crecen a partir de una célula, los tejidos dañados o desgastados se reemplazan, es decir, interviene en el crecimiento y desarrollo, debido a que permite la producción de muchas células idénticas, por ejemplo, en una persona adulta ocurren cerca de  $2 \times 10^{12}$  divisiones cada 24 horas, unos 25 millones por segundo. En el caso los organismos unicelulares es el mecanismo por el cuál se reproducen.

Un acontecimiento previo a la mitosis es la replicación de los cromosomas (fase S), para posteriormente formar dos núcleos hijos que se dividen y dan origen a dos células genéticamente idénticas y por consiguiente, se conserva el número cromosómico característico de la especie. Este proceso lo realizan todas las células, excepto los gametos, las células del sistema inmunológico y en general, las que no se dividen (se mantienen en G<sub>0</sub>), siendo imprescindible en el desarrollo, crecimiento y regeneración de los tejidos, además, de en la reproducción asexual. (Fig. 4.2.)

En la interfase se llevan a cabo algunos eventos importantes para la división, como son: inicio de la condensación de la cromatina, se finaliza tanto la replicación del ADN, como la duplicación del **centrosoma** (organizador de los

microtúbulos) y por último se empieza a ensamblar el huso mitótico.

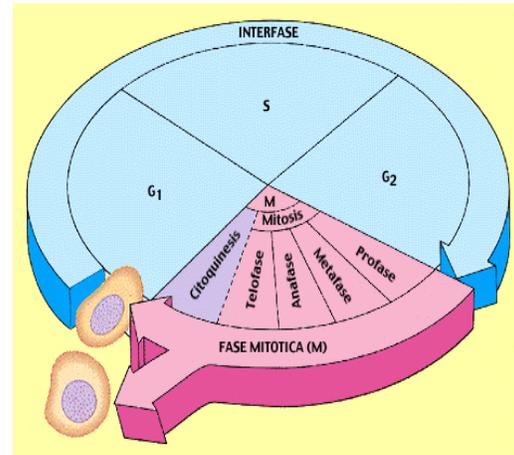
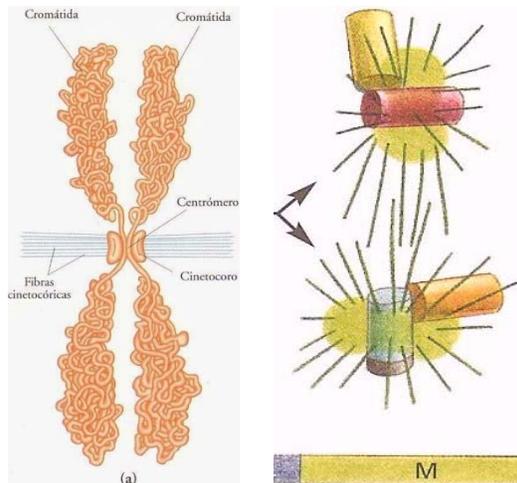


Fig. 4.5. Están las fases de la mitosis (M) y se observa que la citocinesis no forma parte de la mitosis. [http://www.puc.cl/sw\\_educ/biología/bio100/imagenes/6833dc349f5filenamemeD245tpeimagegif.gif](http://www.puc.cl/sw_educ/biología/bio100/imagenes/6833dc349f5filenamemeD245tpeimagegif.gif)

La mitosis es un proceso continuo, dinámico y ordenado, que para su estudio se ha dividido en cuatro etapas: **profase, metafase, anafase y telofase**, además de la **citocinesis** (división del citoplasma) que no forma parte de la mitosis. (Fig.4.5.)

Algunos de los participantes en el proceso de la mitosis son: los **cromosomas**, que están formados por dos **cromátidas hermanas** idénticas (la copia se formó en la etapa S) y cada una de ella tiene un **centrómero**, que es el sitio, por el que se mantienen fuertemente unidas (Fig. 4.6.a.). Cada especie tiene un número característico de cromosomas en sus células, siendo diferente entre una especie y otra. Tabla. 4.3.

El **cinetocoro**, es una estructura formada por proteínas, en forma de disco que se ensambla al centrómero y es el sitio donde se insertan los microtúbulos o fibras del huso mitótico. (Fig. 4.6.a)

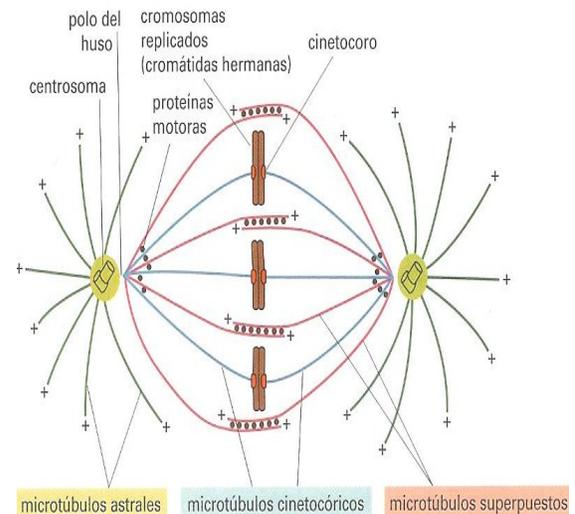


**Fig. 4.6. a) Cromosoma condensado, formado por dos cromátidas hermanas (idénticas), unidas por el centrómero y el cinetocoro son proteínas asociadas al centrómero. b) Centrosoma formado por un par de centriolos, microtúbulos que parten de él y una matriz (verde). En la fase M se dividen y emigran a los polos y cada uno lleva microtúbulos que forman el aster. Curtis H. 2006. Alberts B. 2004.**

El **centrosoma** (del griego *centrum*-centro, *soma*- cuerpo) se encuentra en la mayoría de las células animales, se localizan cerca del núcleo, es el principal centro organizador de los microtúbulos (estructuras cilíndricas, alargadas y huecas formadas, de proteínas) debido a que en él se anclan. Está constituido por un par de centriolos (solo en células animales), una matriz de proteínas y numerosos microtúbulos que se encargan de separar a los cromosomas (Fig.4.6.b). Durante la interfase (de G<sub>1</sub> a G<sub>2</sub>) se duplican y al iniciarse la mitosis forman el aster y emigran a los extremos de la célula, formando los dos polos del huso mitótico. Los microtúbulos se alargan y de ésta manera se forma el **huso mitótico**, que es el encargado de desplazar a los cromosomas duplicados, separándolos entre sí. (Fig. 4.7.)

El huso tiene forma elíptica y está formado por tres tipos de microtúbulos

que son: los **polares o superpuestos**, que van del polo del huso a la región central de la célula y mantienen la simetría del huso, los **microtúbulos cinetocóricos** van del centrosoma al cinetocoro de los cromosomas y los desplazan, y por último, los **microtúbulos astrales** salen del centrosoma hacia todas direcciones y parece que intervienen en la separación de los polos. (Fig. 4.7.)



**Fig. 4.7. Los microtúbulos que forman al huso mitótico y el aster de una célula animal. Alberts B. 2004.**

**Sabías que:** Existen algunas drogas extraídas de plantas como la colchicina, el taxol (tejo del pacífico o *Taxus brevifolia*) y la vinblastina (*Catharanthus rosea* de Madagascar), que modifican el correcto ensamblado de los microtúbulos del huso mitótico, provocando la alteración de la mitosis, por lo que se les considera antitumorales y se usan en los tratamientos contra el cáncer.

Al principio de la fase M el centrosoma se divide en dos y cada uno forma un grupo de microtúbulos cortos, radiales, en forma de estrella que constituyen el **áster**. Inicialmente están juntos y cerca del núcleo y al ir avanzando la mitosis, se

desplazan hacia los lados opuestos del núcleo, iniciando la formación de los dos polos del huso mitótico. Se encuentran en las células animales, por tanto, las células vegetales no forman el áster. (Fig. 4.7.)

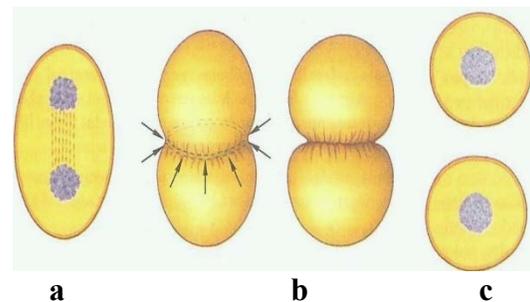
Para que pueda realizarse la mitosis es necesario que estén presentes los elementos anteriormente mencionados, ya que tienen un papel preponderante en el proceso.

Como se puede observar en el cuadro 4.1, no se incluye a la **citocinesis** en la mitosis, aunque es la siguiente fase de la telofase y la última etapa del ciclo celular (Fig. 4.5). Su importancia radica en que divide al citoplasma y los organelos celulares equitativamente, para que se formen dos células hijas idénticas. La citocinesis en células animales se debe a la presencia de un anillo contráctil, formado por fibras de proteínas, que se unen por debajo de la membrana plasmática, generalmente localizado en el ecuador o parte media de la célula. (Fig. 4.8. A.)

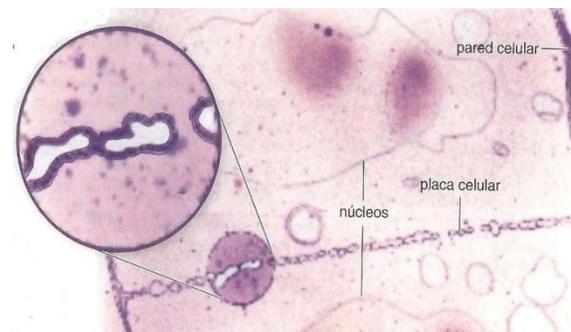
Se inicia cuando el anillo contráctil jala a la membrana plasmática y forma un surco o constricción alrededor de la parte media de la célula, que se va haciendo cada vez más profundo, hasta que termina por separar simétricamente a las dos células hijas, que son de tamaño más pequeño que la célula madre, pero genéticamente idénticas. Una vez que termina la citocinesis, las células entran a la etapa G<sub>1</sub> de la interfase, iniciado así un nuevo ciclo celular. (Fig. 4.8. A.)

Una de las características de las células vegetales es que tienen pared celular (de polisacáridos), por lo que la citocinesis es diferente a la que realizan las células animales. Se inicia al final de la anafase, en que se forman una serie de vesículas

que contienen polisacáridos y se alinean en la parte media de la célula entre los dos núcleos, éstas se van acomodando y fusionando para formar una estructura plana limitada por una membrana llamada **placa celular**, que se fusiona con la membrana plasmática y da lugar a una placa de polisacáridos entre las dos células hijas y de ésta manera completan su separación. (Fig.4.8.B.)



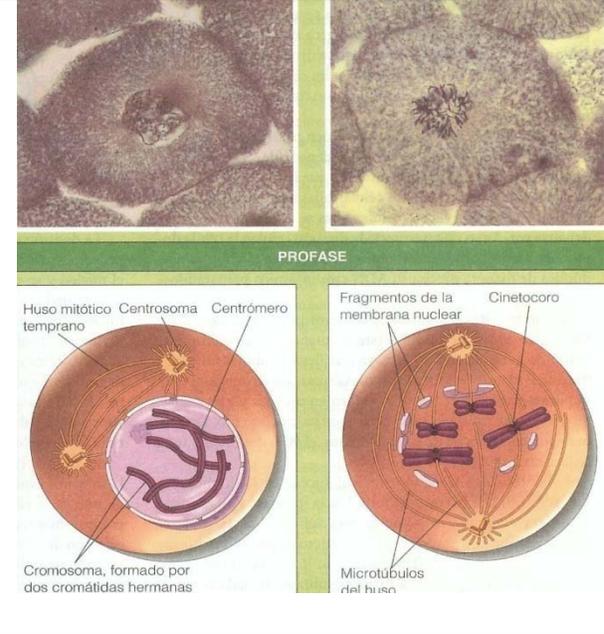
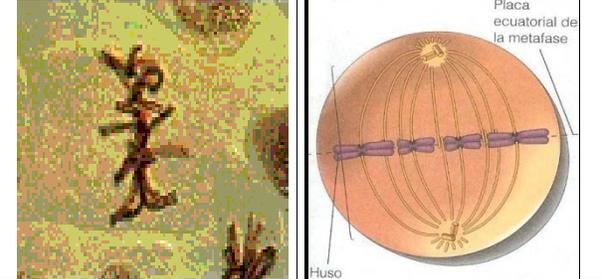
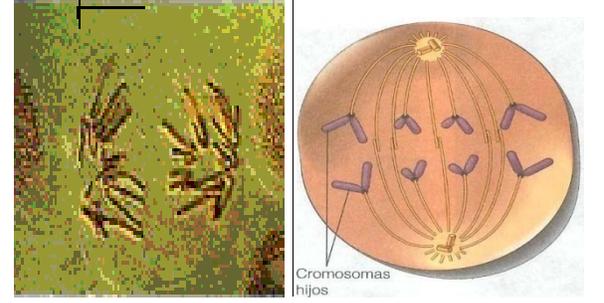
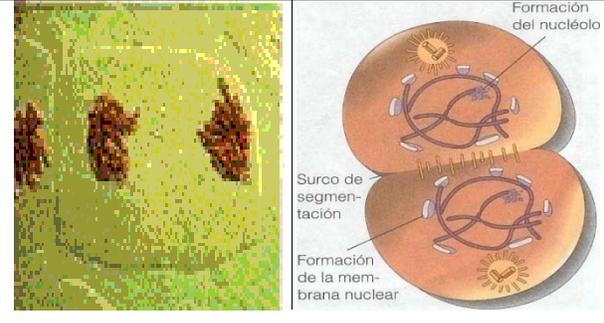
**Fig. 4.8. A. a) Célula animal en telofase. b) En la parte media de la célula se forma un anillo de microfilamentos que se une a la membrana plasmática y se contrae progresivamente, disminuyendo el diámetro y aparece un surco en la superficie de la célula. c) La contracción continúa hasta que el anillo separa en dos a la célula. Starr C. 2005.**



**Fig. 4.8. B. Citocinesis de una célula vegetal. Se observan las vesículas que forman la placa celular entre los dos núcleos hijos y como se extienden hasta la membrana celular. Mader, S. 2008.**

En el cuadro 4.1. se describen los principales acontecimientos que se llevan a cabo en cada una de las fases de la mitosis.

**Cuadro 4.1.**

	<p><b>Profase:</b> Durante la profase dentro del núcleo se termina de condensar los cromosomas y se hacen visibles, el nucleolo desaparece, el citoesqueleto se desarticula, los centrosomas se separan y se dirigen hacia los extremos de la célula, iniciando la formación del <b>huso mitótico</b>, formado por microtúbulos que atraviesan la célula que une a los dos centrosomas y crecen rápidamente; se forma el áster (en células que tienen centriolos). Ya avanzada la profase, el núcleo se fragmenta y se dispersa, los microtubulos invaden la región nuclear de la célula. Los microtúbulos del huso se unen al cinetocoro de los cromosomas y los llevan al centro de la célula. Esta fase de la mitosis es la que dura más tiempo.</p>
	<p><b>Metafase:</b> A lo largo de ésta etapa, los microtúbulos unidos al cinetocoro (fibras o microtúbulos cinetocóricos), van jalando y acomodando a los cromosomas en la parte media o ecuador del huso mitótico, formando la <b>placa ecuatorial</b></p>
	<p><b>Anafase:</b> Las fibras cinetocóricas se van acortando y por tanto, jalan a las cromátida hermanas hacia los polos opuestos, siendo el centrómero el que viaja primero, por consiguiente las separa y forma dos cromosomas hijos, y los polos del huso se separan entre sí y todos los eventos son sincrónico. Es la etapa más rápida de la mitosis.</p>
	<p><b>Telofase:</b> Se inicia cuando los cromosomas llegan a los polos, se descondensan por desenrollamiento y es rodeado cada juego de cromosomas por la envoltura nuclear, dando origen a dos núcleos hijos idénticos, con lo que termina la mitosis y se inicia la citocinesis. Así mismo, se reorganiza el nucleolo y desaparecen los microtúbulos del huso.</p>

Como resultado de la mitosis se originan dos células hijas y cada una con aproximadamente la mitad del contenido citoplasmático y con una copia exacta del material genético que tenía la célula que les dio origen. (Fig. 4.9.)

**Sabías que:** Algunas células realizan la mitosis pero no la citocinesis, dando lugar a células multinucleadas, como las células de embriones de *Drosophila* (mosca de la fruta) y los osteoclastos (células encargadas de la reabsorción de los huesos), además de las células del músculo cardíaco, entre otras.



Fig. 4. 9. Se observa en corte de ápice de raíz de cebolla, a células en diferentes fases del ciclo celular. <http://microcopy.fsu.edu/micro/gallery/mitosis/mitosis.html>

**Sabías que:** El número de células de los organismos pluricelulares esta regulado con mucha precisión, por lo que las células que no son necesarias o representan una amenaza para el organismo, se autoeliminan activando un programa de muerte celular programada o apoptosis, por ejemplo, en un adulto sano cada hora mueren miles de millones de células en la médula ósea y en el intestino.

## Meiosis

La meiosis (del latín hacer más pequeño) es la forma de reproducción, que realizan las células sexuales o gametos, teniendo la particularidad de ser **haploides**, es decir, que tienen la mitad de los cromosomas característicos de la especie, por ejemplo, las células somáticas de la especie humana tienen 46 (2n) y se les llama **diploide**, mientras los gametos tienen 23 cromosomas (n). Tabla 4.3.

Organismo	n (número haploide)	2n (número diploide)
Ser humano	23	46
Gorila, chimpancé	24	48
Perro	39	78
Gato	19	38
Camarón	127	254
Mosca de la fruta	4	8
Chícharo	7	14
Papa	24	48
Batata	45	90

Tabla 4.3. Número haploide y diploide de cromosomas característicos de algunas especies. Audesirk, T. 2008.

Para que se restituya el número de cromosomas normal (diploide) deben participar los dos gametos (femenino y masculino), que pueden provenir de dos progenitores o de uno solo, pero que aporte los dos tipos de gametos y el proceso que une a éstas dos células es la **fecundación** y da origen a un **cigoto** o **huevo** que tendrá características de ambos padres, pero serán diferentes a ellos, además, proporciona variabilidad a las especies. (Fig. 4. 10.)



Fig. 4.10. El espermatozoide fecundando al óvulo. [http://enciencia.blogspot.com/2009\\_12\\_01\\_archive.html](http://enciencia.blogspot.com/2009_12_01_archive.html)

Los gametos como se mencionó anteriormente, tienen características particulares, por lo que se forman en estructuras u órganos especializados, como es el caso de los óvulos que son los gametos femeninos y se forman en los ovarios, tanto de plantas como de animales, mientras, las células sexuales masculinas o espermatozoides en animales y granos de polen en las plantas, se producen en los testículos y en las anteras respectivamente.

Para que los gametos sean haploides, es necesario que se realicen dos divisiones sucesivas (nucleares y citoplásmicas), que se conocen como **meiosis I (los cromosomas homólogos se separan)** y **meiosis II (las cromátidas hermanas se separan)**; en la que cada una tiene una profase, metafase, anafase y telofase y como consecuencia se formarán cuatro células haploides o gametos, con características diferentes.

Todas las células antes de iniciar la meiosis, pasan por las etapas G<sub>1</sub>, S y G<sub>2</sub> de la interfase, llevándose a cabo los mismos eventos que en la mitosis, por

ejemplo, en la fase S (síntesis) el ADN se replica.

La información genética de los organismos que tienen reproducción sexual, esta formada por el 50% de los cromosomas que aporta el padre y el otro 50% la madre, a éstos cromosomas se les conoce como **homólogos**, porque su información es muy parecida, es decir tienen diferentes versiones de la misma característica. (Fig. 4.11.)

Cuando la célula entra en la etapa S (síntesis) de la interfase, se replica el ADN, dando origen a cromosomas formados por dos cromátidas hermanas (idénticas) unidas por el centrómero. En la meiosis los cromosomas homólogos paternos y maternos se reconocen y se **aparean** y a ésta asociación se le llama **sinapsis** (unión), dando como resultado una estructura con cuatro cromátidas o **tétradas**, también llamado **cromosoma bivalente**. (Fig. 4.13.)

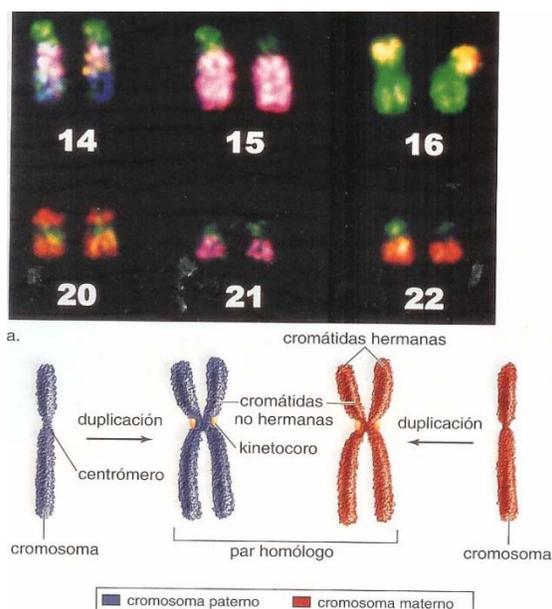
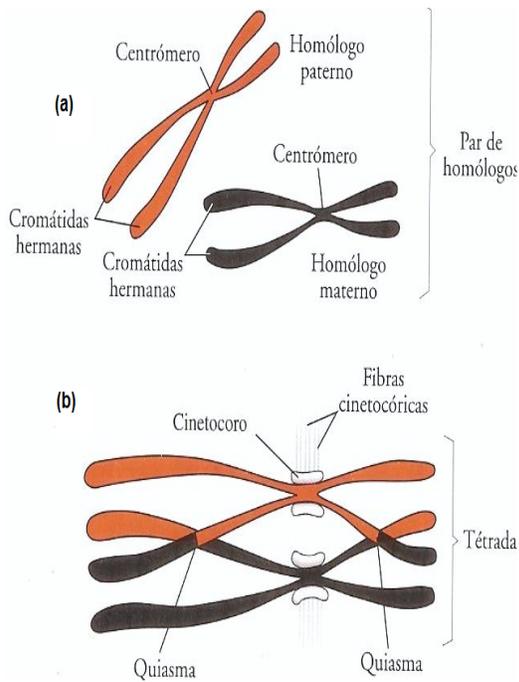


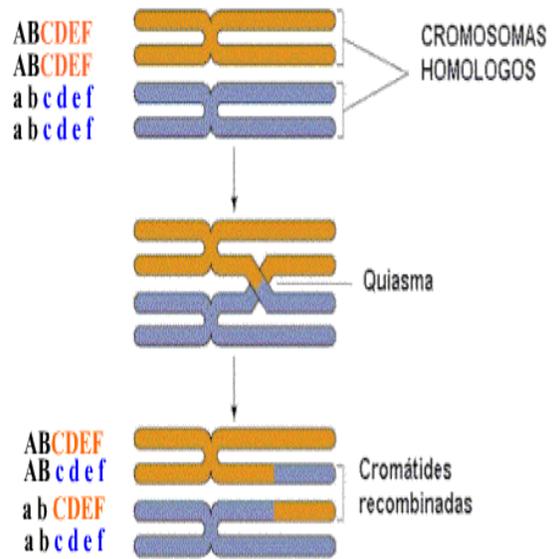
Fig. 4.11. a) Pares de cromosomas de célula humana. b) Cromosomas paternos y maternos sencillos y duplicados. Mader, S. 2008.



**Fig. 4.12. a) Par de cromosomas homólogos, uno proveniente del padre y el otro de la madre, formados cada uno por dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero. b) Cromosomas apareados formando las tetradas (cuatro cromátidas) realizando el entrecruzamiento en los quiasmas (sitio de entrecruzamiento).** Curtis H. 2006.

Una vez que están formadas las tetradas, los cromosomas homólogos se unen en determinados lugares por unas estructuras llamadas **quiasmas**, que son importantes porque mantienen a los cromosomas homólogos paternos y maternos unidos hasta la anafase I en que son separados, (Fig. 4.12. b.) además, son también los sitios donde se lleva a cabo el **entrecruzamiento** o **crossing-over**, que es el intercambio de fragmentos de ADN entre los cromosomas homólogos (maternos y paternos), siendo por lo menos uno y en general 2 o 3 por par de cromosomas, y **no** se distribuyen uniformemente, es decir, que pueden surgir en cualquier parte del cromosoma. (Fig.4.12.b.)

El entrecruzamiento es un evento muy importante, ya que al finalizar, ya no hay cromosomas totalmente paternos o maternos, sino que son una combinación de los dos, lo que proporciona variabilidad a las especies. (Fig. 4.13.)



**Fig. 4.13. Se observa a los cromosomas homólogos, los quiasmas y los cromosomas después del entrecruzamiento, notándose el cambio de la secuencia de las letras. (lado izquierdo).** [http://fai.unne.edu.ar/biologia/cel\\_euca/images/crosso1.gif](http://fai.unne.edu.ar/biologia/cel_euca/images/crosso1.gif)

Hay algunas semejanzas con la mitosis, en cuanto a la organización interna de la célula durante el proceso como: la condensación de los cromosomas, la duplicación del ADN, el desplazamiento de los centrosomas a los polos, la formación del huso mitótico, la unión de los cromosomas con los microtúbulos por el cinetocoro, la citocinesis, etc.

La meiosis es un proceso continuo, pero para su estudio se ha dividido en dos etapas (1ª. y 2ª. división meiótica) y cada una de ellas en cuatro fases que

son: **profase, metafase, anafase y telofase.** (Fig. 4.16.)

### Primera división meiótica

**Profase I:** Es la más significativa y de mayor duración de la meiosis, tardando aproximadamente el 90% del tiempo total que dura el proceso completo. Por su importancia se ha dividido en cinco etapas que son: **leptotena, zigotena, paquitena, diplotena y diacinesis.** (Fig. 4.14.)

**Leptotena:** El núcleo aumenta de tamaño, los cromosomas homólogos (duplicados en la fase S) se condensan y se hacen visibles al microscopio. (Fig. 4.14.)

**Zigotena:** Se aparean perfectamente los cromosomas homólogos (maternos y paternos) y se realizan las sinapsis. (Fig.4.14.)

**Paquitena:** Se acortan y completan el apareamiento los cromosomas

homólogos, formándose los cromosomas bivalentes o tétradas, además, se lleva a cabo el evento más importante que es el **entrecruzamiento o crossing-over** (intercambio de segmentos entre las cromátidas paternas y maternas) y a partir de ese momento las cromátidas hermanas dejan de ser idénticas. (Fig. 4.13.)

**Diplotena:** Los cromosomas homólogos comienzan a separarse, quedando unidos solo por los quiasmas (sitios de entrecruzamiento) (Fig. 4.12. b. y 4.14.) y se considera que ha terminado el entrecruzamiento.

**Diacinesis:** Se condensan más los cromosomas, las tétradas se distribuyen en el núcleo. Al final de la etapa, el nucleolo y la envoltura nuclear desaparecen, se forma el huso mitótico y sus microtúbulos se unen a los cinetocoros de los cromosomas que son desplazados hacia el centro de la célula.



Fig. 4.14. Etapas de la profase I de la meiosis. [http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogen\\_ov/2BCH/B4\\_INFORMACION/T408\\_MEIOSIS/diapositivas/Diapositiva5.GIF](http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogen_ov/2BCH/B4_INFORMACION/T408_MEIOSIS/diapositivas/Diapositiva5.GIF)

**Metafase I:** Los cromosomas bivalentes o tétradas con sus quiasmas se alinean en la parte media o plano ecuatorial de la célula. Un microtúbulo del huso proviene de un polo y se une a un cromosoma homólogo de la tétrada y otro microtúbulo que proviene del polo opuesto se une al otro cromosoma homólogo, por lo que, éstos cromosomas se moverán hacia los polos opuestos de la célula. (Fig. 4.16.)

**Anafase I:** Hasta esta etapa los quiasmas se separan y los cromosomas bivalentes son jalados en sentidos opuestos por los microtúbulos del huso, que están unidos a los cinetocoros de los cromosomas homólogos (formados por dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero), son separados y guiados a cada polo de la célula, ya que no se dividen las cromátidas como en la mitosis. Debido a lo anterior, a cada polo de la célula le llega la mitad del número de cromosomas característicos de la especie, es decir, son haploides ( $n$ ). (Fig. 4.16.)

**Telofase I:** Llega un juego de cromosomas haploides ( $n$ ) a cada polo, sin embargo, cada cromosoma está formado por dos cromátidas hermanas, característica por la cual se dice, que la primera división meiótica es **reduccional**, es decir, pasa de diploide (antes de la división) a haploide (después de la división). Así mismo, desaparecen los microtúbulos del huso mitótico, se forma la envoltura nuclear en cada polo, se realiza la citocinesis, dando lugar a dos células con diferentes combinaciones de características paternas y maternas, como producto del entrecruzamiento y las cromátidas se desenrollan (Fig.4.16.). En algunas especies no se forma la envoltura nuclear, ni se realiza la citocinesis y pasan inmediatamente a la segunda división meiótica.

**Interfase:** También suele llamarsele intercinesis a ésta fase, que es intermedia entre las dos divisiones. Finalmente las células entran a una etapa muy breve de interfase, que es peculiar, debido a que no existe la fase de síntesis (S), es decir, que no se duplica el ADN y cada célula inicia la segunda división meiótica con el mismo número de cromosomas con el que terminó la primera división.

## Segunda División Meiótica

La mecánica de movimiento de los cromosomas y las estructuras que participan, salvo algunas diferencias, son iguales a la mitosis. Esta segunda división la van a llevar a cabo las dos células que se originaron en la primera división meiótica. (Fig.4.15.)

**Profase II:** se vuelven a condensar los cromosomas hasta hacerse visibles, se fragmenta y desaparece la envoltura nuclear y el nucleolo, se forman los microtúbulos del huso mitótico que se desplazan hacia el centro de la célula, para unirse a los cinetocoros de los cromosomas, que los desplazan hacia el centro de la célula. (Fig.4.16.)

**Metafase II:** los microtúbulos del huso mitótico están unidos a la cara opuesta de los centrómeros (hacia fuera), en la región de los cinetocoros y los cromosomas son alineados en el plano ecuatorial o la parte media de la célula. (Fig.4.16.)

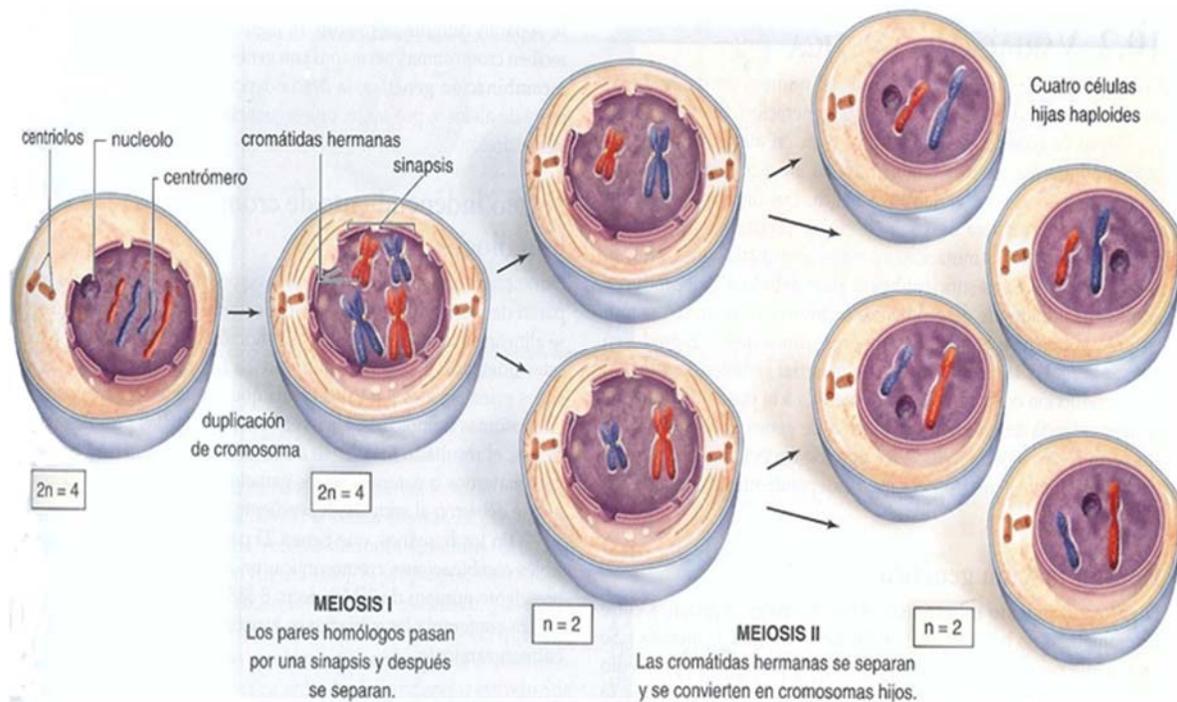
**Anafase II:** los microtúbulos del huso se van acortando y por lo tanto, jalan a los cinetocoros, lo que origina que los centrómeros y las cromátidas hermanas se separen, quedando un cromosoma hijo independiente de cada par, que se dirige a

su respectivo polo de la célula. (Fig. 4.16.)

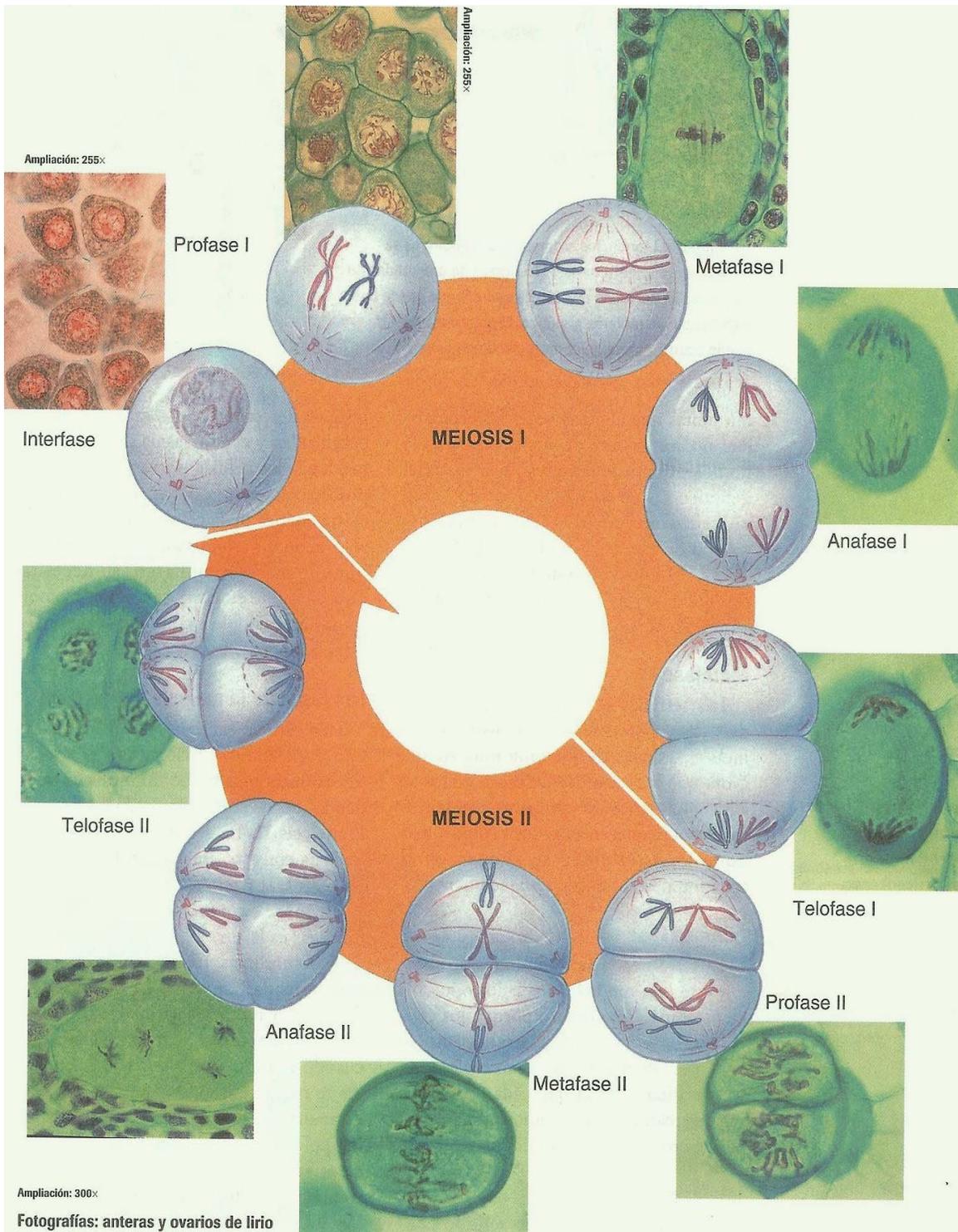
**Telofase II:** a cada polo o extremo de la célula le llega un juego haploide de cromosomas (cromátidas), los que son encerrados por la envoltura nuclear, desaparece el huso mitótico, se forman nuevos nucleolos, se desenrollan los cromosomas y se produce la citocinesis (división del citoplasma). Como resultado

de la meiosis se formaron cuatro células haploides con diferentes combinaciones de características paternas y maternas. (Fig. 4.16.)

A ésta segunda división meiótica se le considera como una etapa **ecuacional**, debido a que se mantiene el número cromosómico haploide, que se había originado en la etapa anterior (1ª. división meiótica).



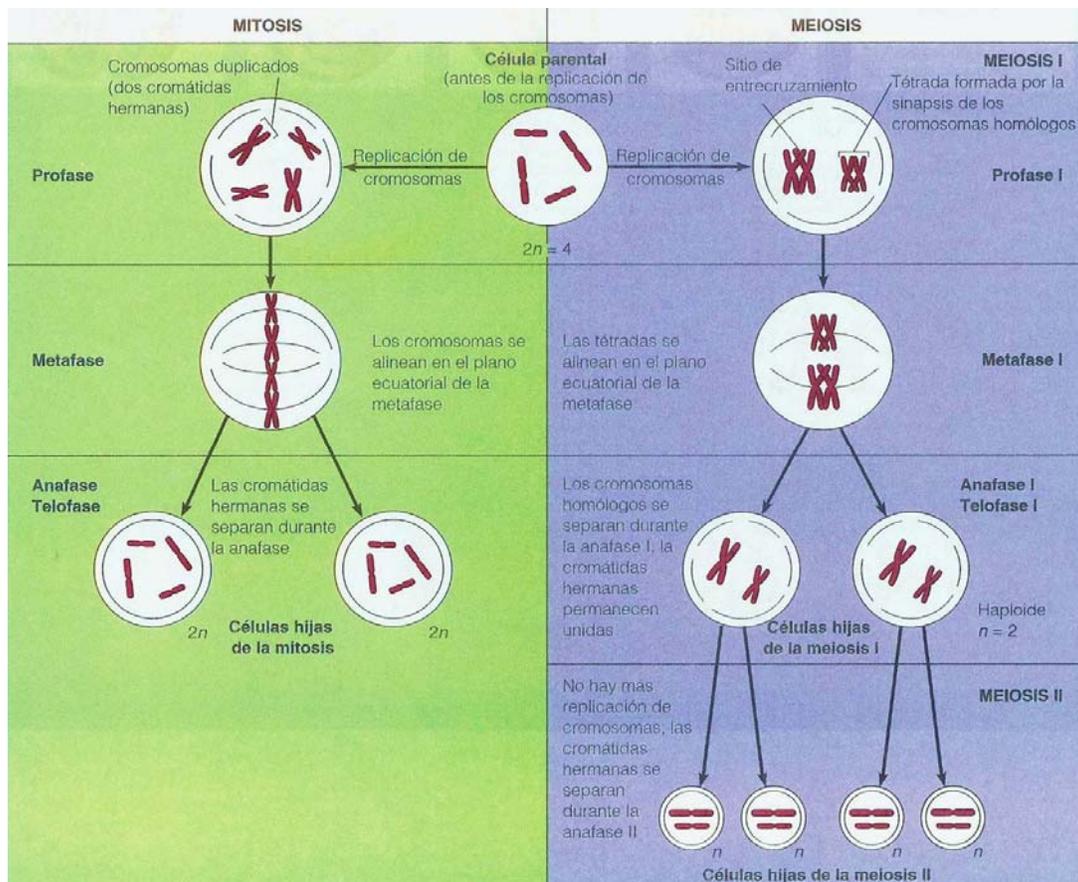
**Fig. 4.15. Aspectos generales de la meiosis. Durante la primera división meiótica, los cromosomas homólogos se duplican y se separan. En la segunda división, las cromátidas hermanas de cada cromosoma duplicado se separan. Como producto final de la meiosis se obtienen cuatro células hijas haploides (un cromosoma de cada tipo) y con diferente información genética. Mader, S. 2008. [biogeo\\_ov/2BCH/B4\\_INFORMACION/T408\\_MEIOSIS/diapositivas/Diapositiva5.GIF](#)**



**Fig. 4.16. Esquema de la primera y segunda división meiótica. Las fotografías son de cortes de antera y ovarios de lirio, correspondientes a cada etapa de la meiosis. Biggs A. 2000**

En el cuadro 4.3 se presentan algunas de las diferencias entre la mitosis y la meiosis, pudiéndose resumir en:

- La replicación del ADN se realiza solo una vez en la meiosis y en la mitosis, pero en la meiosis hay dos divisiones nucleares mientras que en la mitosis sólo una.
- En la meiosis se forman cuatro células hijas y sólo dos en la mitosis.
- Las cuatro células hijas producto de la meiosis son haploides, mientras, que las dos de la mitosis son diploides, es decir, tienen el mismo número de cromosomas que la célula que les dio origen.
- Las células formadas en la meiosis tienen diferente información genética que sus progenitores y entre sí. Las células que se originaron en la mitosis son idénticas en todos los aspectos entre si y con su progenitor.
- En la profase I de la meiosis, en el período paquíteno se lleva a cabo el entrecruzamiento entre cromátidas no hermanas, en el caso de la mitosis no hay entrecruzamiento.
- En la profase I de la meiosis se aparean los cromosomas homólogos, en la mitosis no hay apareamiento.
- Durante la anafase I de la meiosis, los cromosomas homólogos con sus centrómeros íntegros se separan y viajan a los polos opuestos de la célula, en cambio en la anafase de la mitosis, las cromátidas hermanas se separan y se convierten en cromosomas hijos que viajan a los polos de la célula.
- En la meiosis la primera división meiótica es reduccional y la segunda división es ecuacional; en la mitosis hay una sola división y es ecuacional, no varía ni el número ni las características de los cromosomas.
- La meiosis la realizan exclusivamente las células sexuales o gametos, mientras que la mitosis todas las células somáticas, menos las que no se dividen como las neuronas, células del sistema inmunológico, entre otras.
- La meiosis se realiza sólo en organismos que se reproducen sexualmente y exclusivamente en ciertos momentos del ciclo vital, mientras, la mitosis la realizan durante toda la vida, por ejemplo, en procesos como el crecimiento, regeneración y desarrollo.
- La meiosis necesita dos progenitores, mientras, la mitosis sólo uno.



Cuadro 4.3. Comparación entre la mitosis y la meiosis. Campbell N. 2001.

**Sabías que:** En las mujeres, los ovocitos primarios (células que dan origen por meiosis a los óvulos), se forman entre el tercer y octavo mes de gestación, deteniéndose en el periodo de diplotena de la profase I de la meiosis, permaneciendo así durante muchos años, hasta la pubertad en la que concluyen la primera división meiótica.

## Reproducción Asexual

Es una forma de reproducción que realizan una gran variedad organismos, en la que sólo participa un progenitor, que da origen a dos o más descendientes que son genéticamente idénticos, ya que comparten la misma información

genética, siendo la única fuente de variabilidad las mutaciones.

Existen varias modalidades de reproducción asexual como: la fisión binaria o bipartición, la gemación, la esporulación, la fragmentación y la reproducción vegetativa, teniendo todas en común el proceso de la mitosis.

Algunas de las ventajas de este tipo de reproducción son:

- Originar un gran número de descendientes con rapidez.
- No producir gametos.
- No tener órganos especializados para formar gametos.
- No llevar a cabo la fecundación.

- Los organismos que tienen poca movilidad, o son sésiles o viven aislados, pueden tener hijos sin que tengan que buscar y encontrar pareja, cortearla, etc.
- Facilitar la dispersión de los organismos a grandes distancias

El hecho de que sean iguales todos los hijos, generación tras generación les funciona eficientemente a los organismos que están muy bien adaptados al ambiente, ya que les permite expandirse en poco tiempo y explotar los recursos disponibles.

La característica de que la descendencia sea idéntica, puede ser una desventaja, cuando las condiciones del medio ambiente cambian y dejan de ser favorables para la supervivencia, todos los individuos de la población se verán afectados de la misma manera, poniendo en riesgo su existencia, debido a que ningún organismo tendrá las características para adaptarse al nuevo ambiente, ya que no existe la variabilidad genética en la población.

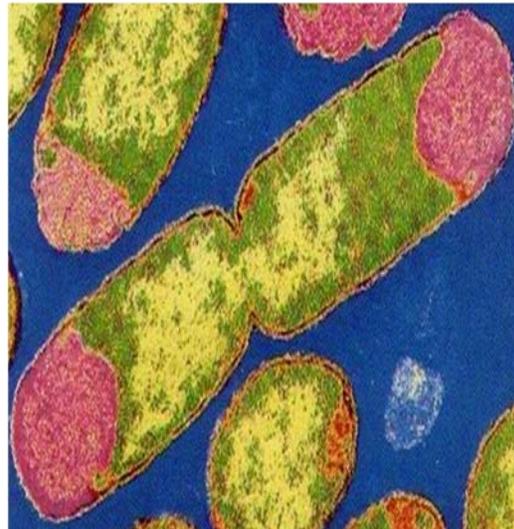
Los organismos que realizan la reproducción asexual, pueden ser unicelulares, algunos multicelulares y tanto plantas como animales, por ejemplo, ciertas esponjas, estrellas de mar, bacterias, amibas, rotíferos, paramecios, la lagartija cola de látigo, hongos, levaduras, algas, plantas, etc.

### Fisión Binaria

A la fisión también se le conoce como fisión binaria (Lat. *fissus*-partir, *binarius* de 2 en 2) o bipartición, es la forma de reproducción asexual más sencilla que

existe, y la realizan principalmente organismos unicelulares como bacterias, protozoarios y algas unicelulares, además de algunos animales como planarias (platyhelminthes), ciertos gusanos segmentados (anélidos).

Consiste en que un organismo se divide y da origen a dos individuos o células hijas idénticas. El proceso se inicia con la duplicación del ADN del progenitor, para posteriormente dividir el citoplasma equitativamente y la célula sufra un estrangulamiento en una determinada zona, que se continúa hasta que se rompe y quedan dos células hijas independientes, del mismo tamaño y con las mismas características hereditarias. La fisión binaria puede ser transversal, es decir, que se lleva a cabo a lo ancho del organismo como en el caso de las bacterias (Fig. 4.17.) o longitudinal, es decir a lo largo del individuo. (Fig.4.18.)



**Fig. 4.17. *Escherichia coli* realizando la fisión binaria transversal. Tomado <http://html.rincondelvago.com/procariotas-eucariotas.html>.**

**Sabías que:** Las bacterias en condiciones óptimas se pueden dividir aproximadamente cada 20 minutos, por lo que en siete horas, una sola bacteria puede dar origen a más de un millón de células.

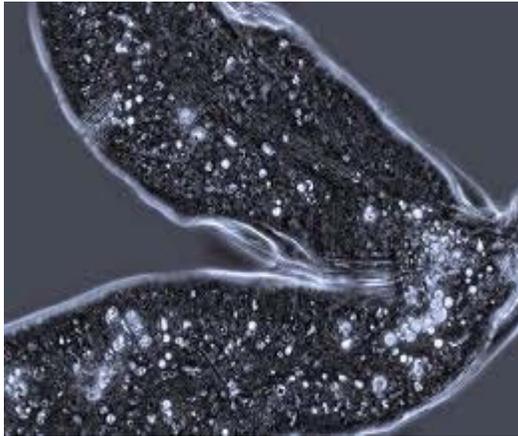


Fig. 4.18. Una ameba realizando la fisión binaria longitudinal. [http:// www.lenaturalist](http://www.lenaturalist.com) <http://www.lenaturaliste.net/forum/viewtopic.php?style=9&f=140&t=3823>.

### Gemación

Otra forma de reproducción asexual es la gemación y consiste en que al progenitor se le forma una pequeña protuberancia llamada **yema**, a la que se dirige un juego completo de ADN, que previamente se duplicó; esta estructura crece y madura, hasta sufrir una constricción en la base y se separa de su progenitor, dando origen a un nuevo organismo independiente, con la misma información genética que el padre y de menor tamaño. Se puede presentar tanto en organismos unicelulares, como las levaduras (Fig. 4.19.), así como, en pluricelulares. (Fig. 4.20.)

Cuando se presentan condiciones favorables en el medio, puede darse el caso de que yemas que no se han separado del progenitor, formen a su

vez yemas a las que se les conoce como **yemas secundarias**.

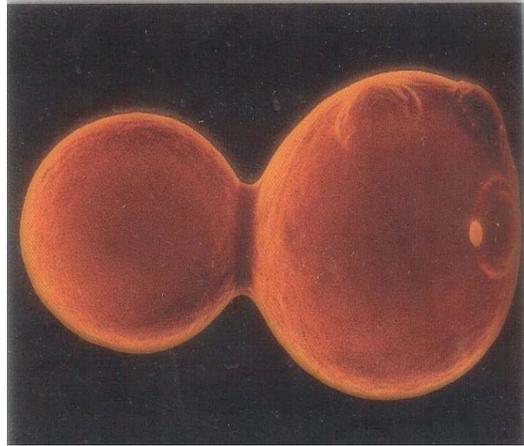


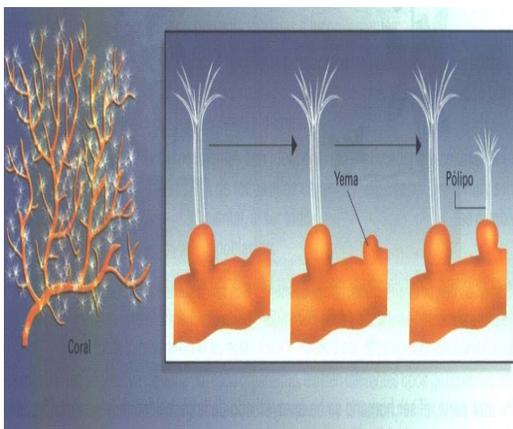
Fig. 4.19. Se observa la formación de una yema (más pequeña) en una levadura. Estructura característica de la reproducción asexual por gemación. Biggs. 2000.



Fig. 4.20. Reproducción de una hidra por gemación. <http://cache.eb.com/eb/image?id=10846&rendTypeId=4>

En algunas especies de animales como las esponjas, medusas, anémonas e

hidrozoarios, las yemas no se separan y permanecen adheridas al progenitor, formando colonias. (Fig. 4. 21.)



**Fig. 4.21.** Los pólipos forman yemas en la superficie del cuerpo, que se desarrollarán y quedarán unidas al resto de la colonia. [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso\\_romero\\_barcojo/trabajos\\_alumno/reproduccion/imagenes\\_la\\_reproduccion/rep11.jpg](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso_romero_barcojo/trabajos_alumno/reproduccion/imagenes_la_reproduccion/rep11.jpg)

### Esporulación

La esporulación se caracteriza por la formación de estructuras resistentes y especializadas para la reproducción llamadas **esporas**; la realizan algunas especies de hongos, bacterias, protozoarios (amibas) y algas.

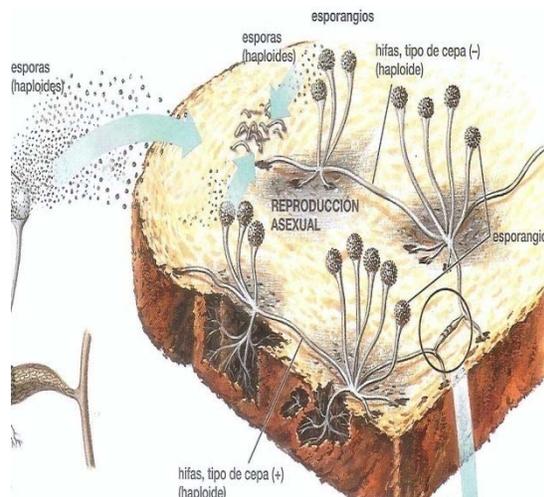
Las esporas contienen un núcleo y una pequeña porción de citoplasma, por lo que son de tamaño pequeño (microscópicas) y pueden dispersarse grandes distancias con facilidad, ya sea por el viento, el agua o animales.

Poseen una cubierta dura y resistente, que les permite soportar condiciones adversas del medio ambiente como sustancias tóxicas, temperaturas extremadamente bajas o altas y sequías, además pueden permanecer viables por

largos periodos de tiempo, en espera que se den las condiciones del medio ambiente óptimas, para que se desarrollen (germinen) los nuevos organismos, que será genéticamente iguales a su progenitor, ya que se formaron por divisiones mitóticas de sus células. (Fig. 4.22.)



**Fig. 4.22.** Cuando las condiciones ambientales son adecuadas, las esporas de *Phytophthora* se liberan y son dispersadas por la lluvia y el viento. <http://tbn0.goggle.com/images?q=tbn:HptHblMdpUKsqM>

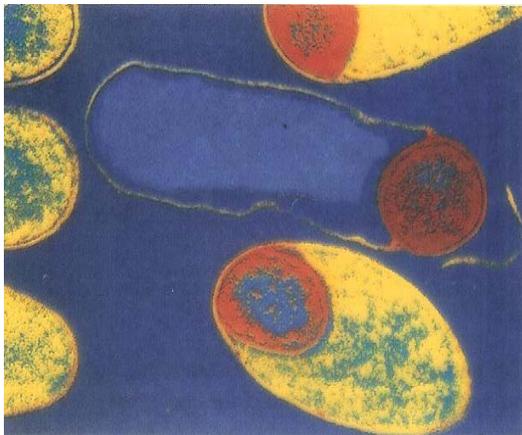


**Fig. 4.23.** *Rhizopus stolonifer*, hongo negro del pan. Se observan los esporangios y las esporas asexuales que se forman en su interior. Audesirk, T. 2008.

En el caso de los hongos, las esporas se forman en unas estructuras

especializadas llamadas **esporangios**, que tienen la capacidad de constituir un gran número de esporas. (Fig. 4.23.)

Cuando las condiciones ambientales no son las adecuadas, las bacterias forman esporas que se conocen como **endosporas** y tienen las características de su progenitor. Tienen la particularidad de formarse dentro de la bacteria y contienen poca cantidad de citoplasma, ADN y ribosomas; esta rodeada por una envoltura impermeable y rígida, resistente al calor, la radiación ultravioleta, desecación, ácidos, desinfectantes, presión, etc., lo que las hace difíciles de destruir y pueden permanecer latentes por largos periodos de tiempo (Fig. 4.24.). En cuanto las condiciones del medio mejoran, las endosporas se desarrollan y las bacterias se vuelven activas.



**Fig. 4.24. Endospora (espora interior resistente) de *Clostridium botulinum*, de color rojo, causante del botulismo. Audesirk. 2008**

### **Fragmentación**

La fragmentación la realizan algunas plantas y animales pluricelulares, se caracteriza por la división del cuerpo del organismo en dos o más fragmentos

y cada uno de ellos se desarrolla hasta formar un nuevo organismo adulto, completo, independiente y exactamente igual a su progenitor, se presenta en algas pluricelulares, animales inferiores como planarias, estrellas de mar, algunos gusanos poliquetos, lombrices de tierra, etc. (Fig. 4. 25.)

**Sabías que:** La bacteria *Clostridium botulinum* produce una toxina nerviosa, que causa la infección llamada botulismo, que consiste en la parálisis de los músculos del individuo, pudiendo causar la muerte. El botox se elabora a partir de la toxina botulínica y actúa paralizando los músculos, su efecto es temporal, tiene uso cosmético entre otros y causa reacciones secundarias.

El proceso complementario de la fragmentación es la **regeneración**, ya que es el mecanismo por el cual se restauran las partes faltantes, desgastadas o dañadas de los organismos. La capacidad de regeneración que tienen los seres vivos es variable y depende del organismo de que se trate, ya que está en relación con el nivel evolutivo, siendo menor entre más evolucionados sea; así las aves y los mamíferos su regeneración es muy limitada.

La fragmentación puede ser provocada por diversos factores como las condiciones climáticas, acción de las olas (en algas verdes y pardas), accidentes (pérdida de brazos en estrellas de mar) (Fig. 4.25.) o espontáneamente, así como hay ciertos gusanos poliquetos marinos, que modifican los últimos segmentos de su cuerpo y los transforman en nuevos individuos o hijos, que serán idénticos e independiente. (Fig.4.26.)

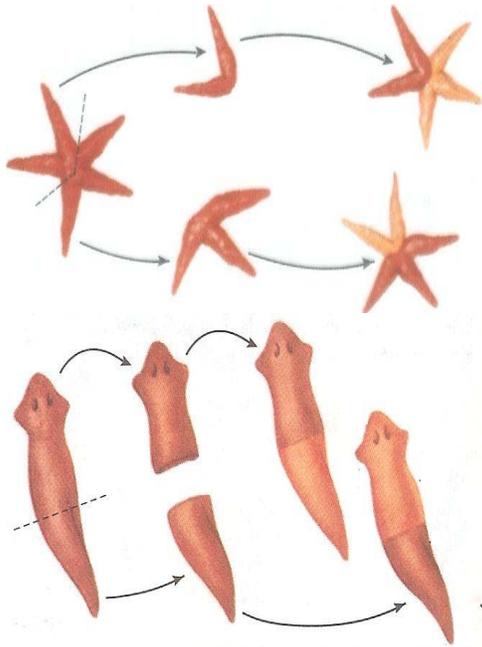


Fig. 4.25. En la fragmentación primero se divide el cuerpo del organismo y enseguida se regeneran las partes faltantes. Audesirk T. 2008

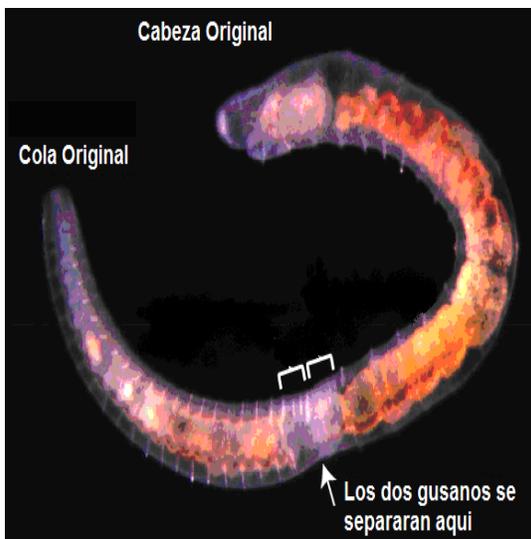


Fig. 4.26. Gusano poliqueto *Paranais litoralis*, forma una nueva cola y cabeza, intercalada en la parte media del organismo. <http://www.life.umd.edu/biology/faculty/bely/Paranais%g.201jpg>

## Reproducción Vegetativa

La reproducción vegetativa es una forma de reproducción asexual común en las plantas y consiste en la producción de nuevos organismos a partir de estructuras o fragmentos de la planta como raíces, tallos y hojas; teniendo todos los descendientes las mismas características genéticas que el progenitor. Estos procesos pueden presentarse de manera natural en las plantas o bien ser artificiales por ser inducidos por el hombre.

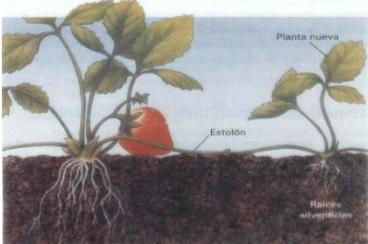
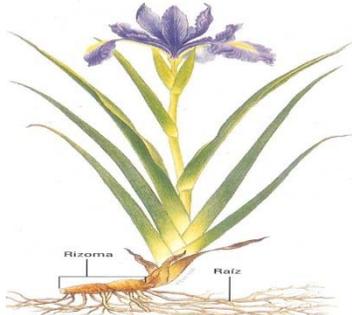
La reproducción vegetativa comprende varias modalidades, según la estructura que participe y a continuación se mencionan algunas de ellas en la tabla 4.4.

## Reproducción Sexual

La reproducción sexual la realizan la mayoría de los organismos pluricelulares y algunos unicelulares; se caracteriza por la formación y unión de dos células reproductivas especializadas llamadas **gametos**, que corresponden a los óvulos y espermatozoides en animales (Fig. 4. 27.), así como, óvulos y granos de polen en plantas. (Fig.4.28)

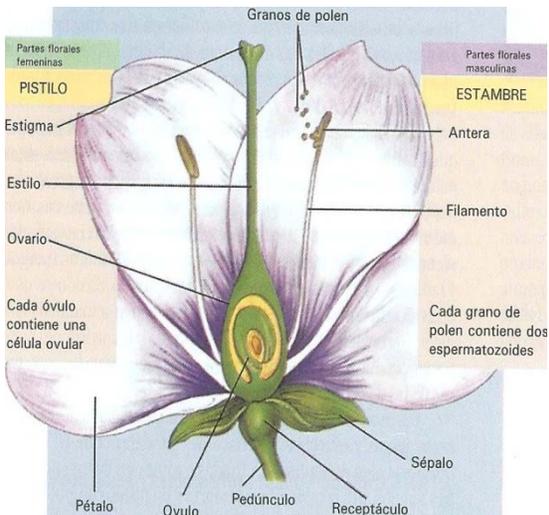
Éstas células se forman en órganos o estructuras especializadas llamadas **gónadas**, si da origen a óvulos se conoce como **ovario**, si son espermatozoides serán los **testículos** en animales o las **anteras** en plantas (Fig. 4.28.); y corresponden al sexo femenino (hembras) y masculino (machos) respectivamente.

**Tabla 4. 4. Algunas modalidades de la reproducción vegetativa**

<p><b>Estolón</b></p>	<p>Son tallos delgados y horizontales que crecen sobre la superficie del suelo y poseen a todo lo largo yemas, de las cuales se desarrollan raíces adventicias y una nueva planta, como es el caso de la fresa.</p>	 <p>Plantita nueva Estolón Raíces adventicias</p>
<p><b>Rizoma</b></p>	<p>Son tallos horizontales subterráneos ligeramente más gruesos que los rizomas y subterráneos, son estructuras de almacenamiento de nutrimentos, tienen hojas parecidas a escamas y yemas de las que se desarrollan nuevas plantas, por ejemplo el bambú, la caña de azúcar, el plátano, así como algunos pastos.</p>	 <p>Rizoma Raíz</p>
<p><b>Tubérculos</b></p>	<p>Son tallos gruesos, suculentos, que actúan como estructuras de reserva, tienen en su superficie yemas (ojos), de las cuales se desarrollarán nuevas plantas, ejemplo la papa, la oreja de elefante, etc.</p>	
<p><b>Bulbos</b></p>	<p>Son tallos subterráneos compuestos de hojas especiales que almacenan alimento para la pequeña planta que llevan adentro, forman yemas laterales que se convierten en bulbos hijos ejemplos las cebollas, los tulipanes, los lirios, etc.</p>	 <p>Capas exteriores impermeables. Una nueva planta crece por el ápice del bulbo.</p>
<p><b>Plantuloides</b></p>	<p>Son plantas pequeñas, que se forman a lo largo de los bordes de las hojas de ciertas plantas y al desprenderse éstas de la hoja caen al suelo, echan raíces y se desarrollan como una planta independiente, ejemplo el <i>Kalanchoe</i>, la <i>Bryophylla</i>, etc.</p>	



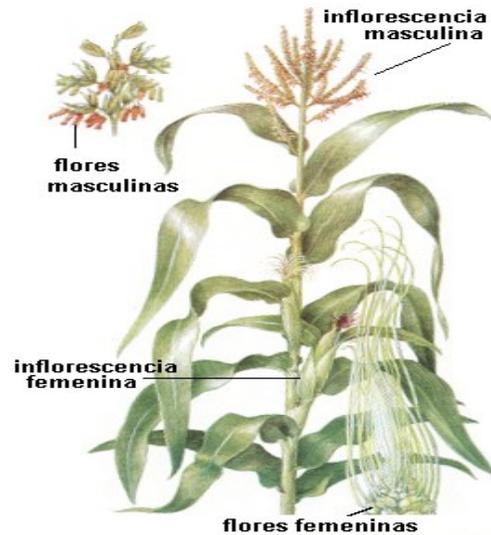
**Fig. 4. 27.** Se observa la fecundación y los gametos humanos. Donde el óvulo es grande e inmóvil, mientras, los espermatozoides son pequeños y móviles ya que poseen un flagelo. Mader, S. 2008



**Fig. 4.28.** Corte de una flor típica, donde se muestran sus estructuras reproductivas y gametos, entre otras. Solomon E. 2001.

Los organismos son **monoicos** (Gr. *monos*-uno, *oikos*-casa), cuando en un solo individuo se producen tanto los óvulos, como los espermatozoides u óvulos y granos de polen (Fig.4.29.) y **dioicos** (Gr. *di*-dos, *oikos*-casa) si los gametos se forman en organismos

diferentes, es decir hay hembras y machos.



**Fig. 4.29.** El maíz *Zea mays* es una planta monoica, ya que tiene las flores masculinas y femeninas en el mismo individuo. Tomado <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema5/imagenes5/comelina1.JPG>

Los gametos son el resultado de la **meiosis**, por lo que, ya realizaron el entrecruzamiento y tienen la particularidad de ser células **haploides** (**n**), es decir que tienen un solo miembro de cada par de cromosomas homólogos. Para restituir el número completo de cromosomas de cada especie, es necesaria la **fecundación**, que es la unión de dos gametos (femenino y masculino) (Fig. 4. 27.), para dar origen a un cigoto o huevo, que es diploide ( $2n$ ) y que sufrirá una serie de divisiones sucesivas por mitosis, para dar origen a un nuevo organismo, que tiene características de los dos progenitores, por lo tanto será diferente a ellos.

Éste proceso, conduce a que la reproducción sexual proporciona una gran variabilidad genética en la descendencia y una mayor adaptabilidad a los

organismos, ya que viven en ambientes que están en continuo cambio y como consecuencia algunos tienen la oportunidad de sobrevivir a dichos cambios y por consiguiente pueden reproducirse y así garantizar la permanencia de la especie y por lo tanto, tendrán la posibilidad de explorar nuevos ambientes.

En términos generales la reproducción sexual es más compleja y algunas de las desventajas son:

- Los organismos invierten mucha energía en buscar y luchar por la pareja, en realizar cortejos, que a menudo son largos y complicados.
- Es más lenta que la asexual.
- Generalmente tienen un número menor de descendientes.
- Los organismos con reproducción sexual deben de tener estructuras u órganos especiales para la cópula, para la formación de gametos, etc.

La fecundación puede ser externa o interna:

- En la externa la unión de los gametos se realiza fuera del cuerpo de los progenitores y consiste, en que ambos liberan grandes cantidades de óvulos y espermatozoides en el agua, ya que la realizan muchos de los animales acuáticos como peces, anfibios, entre otros. (Fig. 4. 30.)
- En la fecundación interna generalmente el macho deposita los espermatozoides en el interior del cuerpo de la hembra, para que se lleve

a cabo la unión de los gametos y para que esto suceda se requiere de la cópula. Los organismos que realizan ésta tipo de fecundación son la mayor parte de los animales terrestres, así como los tiburones, aves, reptiles y mamíferos acuáticos.

Hay organismos que tienen la capacidad de reproducirse tanto asexualmente como sexualmente a lo largo de su vida.



**Fig. 4.30. Fecundación externa, La hembra de rana (*Rana temporaria*) expulsa una masa de huevos, mientras el macho abraza a la hembra y al mismo tiempo libera los espermatozoides en el agua. Solomon E. 2001.**

### **Hermafroditismo**

Es una modalidad de la reproducción sexual, que se caracteriza porque en el mismo individuo se encuentran los órganos sexuales femenino y masculino, por lo que un solo organismo forma óvulos y espermatozoides (animales) y óvulos y granos de polen (vegetales) y se les conoce como monoicos (Gr.*monos*-uno, *oikos*-casa). Tiene grandes ventajas ésta manera de reproducción en los organismos sésiles, parásitos, de lento

movimiento o limitaciones en la dispersión, porque los gametos de éste, son suficientes para llevar a cabo la fecundación. La presentan animales inferiores como tenias, algunos insectos, oligoquetos, esponjas, bivalvos, caracoles, maíz, plantas con flores, entre otros.

Puede realizarse la **autofecundación**, es decir, que los gametos femeninos (óvulos) sean fecundados por los gametos masculinos (espermatozoides o granos de polen) del mismo individuo, por ejemplo la tenia (*Taenia saginata*), algunas plantas, la cochinilla (*Icerya purchasi*), etc. (Fig. 4.31.), (Fig. 4.34.)



Fig. 4.31. Flores con diferentes estrategias para autofecundarse. a) *Lilium martagon* curva el estilo (estructura femenina) para ponerse en contacto con las anteras (estructura masculina) y se autofecunda. b) *Turnera orientalis* al marchitarse los pétalos se juntan y retuercen, poniendo en contacto las anteras y el estilo, autofecundándose. [http://www.biología.edu.ar/botanica/tema23/images23/turnera\\_orientalis.jpg](http://www.biología.edu.ar/botanica/tema23/images23/turnera_orientalis.jpg)

Otro tipo, son los hermafroditas que necesitan de otro organismo para aparearse y realizan la fecundación cruzada, ya que los testículos y el ovario están en diferentes segmentos del cuerpo y la parte femenina de uno coincide con la masculina del otro y viceversa, por lo que hay intercambio de espermatozoides entre los dos, por ejemplo, la lombriz de tierra, caracol de jardín, las planarias, etc. (Fig. 4. 32.)



Fig. 4.32. Lombrices *Lumbricus sp.* que al acoplarse funcionan a la vez como hembra y como macho, las dos se colocan tocándose por la parte ventral y depositan espermatozoides. Grassé, P. 1982.

Otra forma de hermafroditismo es cuando hay alternancia del sexo, es decir que durante una temporada o un cierto tiempo, se desarrollan los ovarios y producen gametos femeninos y posteriormente maduran los testículos para producir gametos masculinos; en este proceso tiene que ver la edad de los individuos, por ejemplo el pez mero y algunos bivalvos, entre otros (Fig. 4.33.). También puede darse el caso que la producción de gametos femeninos y masculinos no se formen al mismo tiempo, esto es debido a que los órganos reproductores masculinos se desarrollan antes o después de los femeninos. En las dos modalidades antes mencionadas, hay

apareamiento y no existe la posibilidad que se lleve a cabo la autofecundación.



**Fig. 4.33.** Durante los tres primeros años de vida los meros son hembras funcionales, de los tres a los cinco años son asexuados y de los cinco en adelante serán machos funcionales. [http://www.ambienteecologico.com/fotos/087\\_I\\_AB\\_CambioDeHabito.jpg](http://www.ambienteecologico.com/fotos/087_I_AB_CambioDeHabito.jpg) Hermafroditismo.



**Fig. 4.34.** En la cochinita *Iserya purchasi* el hermafroditismo es funcional, ya que puede fecundarse. Grassé, P. 1982.

**Sabías que:** El término hermafrodita, viene de la mitología Griega, en el que “Hermafrodito”, hijo de los dioses Hermes y Afrodita, se unió en un fuerte abrazo con la ninfa “Salmácide” en un lago, en Caria, para fusionarse ambos cuerpos en un solo individuo bisexual.

La partenogénesis y la poliembrionía que se describirán más adelante, son formas de reproducción que poseen algunos organismos. Éstas tienen características muy singulares, que combinan las cualidades de la reproducción sexual con la asexual, pero en ambas hay formación de gametos.

### Partenogénesis

El término partenogénesis viene del griego *Parthenos*- virgen y *genesis*- generación, y consiste en que a partir de óvulos sin fecundar se desarrollan nuevos organismos y el caso más conocido es de la abeja (*Apis mellifera*), en que se originan machos o zánganos (haploides) cuando los óvulos no se fecundan y obreras o reinas (hembras y diploides) si son fecundados, (Fig. 4.35.) pero también se ha observado en algunas especies de rotíferos, platelmintos, áfidos o pulgones, reptiles, anfibios, además de hormigas y avispas, en términos generales es muy frecuente en insectos y presenta varias modalidades. No siempre los óvulos no fertilizados dan machos, por ejemplo en rotíferos (protozoarios) y daphnias o pulgas de agua (*Daphnia sp.* crustáceo) se originan hembras, o también puede darse el caso de que se produzcan organismos de los dos sexos, aunque no es frecuente, como en algunas mariposas.

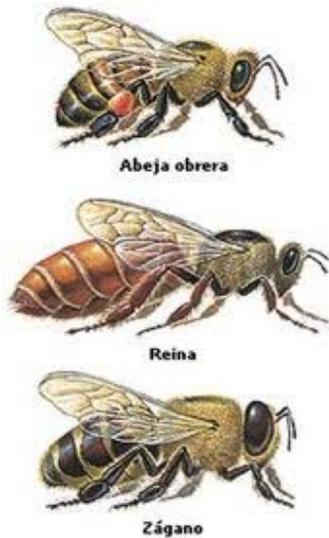


Fig. 4.35. Diferencias entre los zánganos (óvulos sin fecundar), las obreras y la reina (óvulos fecundados) de la abeja *Apis mellifera*. <http://www.taringa.net/posts/info/3245557/Zanganos>

En la mayoría de los organismos que presentan partenogénesis alternan fases de reproducción asexual con sexual y se conocen muy pocas especies que son exclusivamente partenogenéticas. Generalmente la alternancia está relacionada con factores del medio ambiente como la época del año, el tamaño de la población, la cantidad de alimento, el estrés, etc. (Fig. 4.37.), como ejemplo los pulgones.



Fig. 4.36. El insecto palo *Carausius morosus* es partenogenético obligado, por haber pocos machos. <http://www.todofauna.com/foros/showthread.php?t=30964>

Es considerada en algunas especies como una adaptación a la supervivencia y según la frecuencia con que se presente, puede ser obligada (Fig. 4.36), accidental o facultativa.



Fig. 4.37. Las hembras de los áfidos o pulgones se reproducen en primavera y principios del verano por partenogénesis y en el otoño por reproducción sexual. <http://es.wikipedia.org/wiki/Partenogenesis>



**Sabías que:** Un hecho sorprendente fue cuando en 2006, Sungai en el Zoológico de Londres y Flora en el de Chester, dos hembras de “Dragón de Komodo” *Varanus komodoensis* (es el lagarto más grande del mundo, carnívoro y en peligro de extinción), se reprodujeron por partenogénesis y la descendencia fue sometida a pruebas de paternidad comprobándose que la información genética de la descendencia, provenía exclusivamente de la madre.

## Poliembrionía

La poliembrionía (Gr. *poly*-muchos, Gr. *em-bryo*-feto, embrión), es una forma de reproducción muy particular, ya que hay la formación de gametos (óvulos y espermatozoides) y se realiza la fecundación que da origen a un cigoto o huevo, pero durante las primeras etapas de su desarrollo, se fragmenta y produce varios embriones, que tendrán la misma información genética entre sí. La presentan insectos como algunos himenópteros y de los vertebrados los armadillos, que tienen entre 8 y 12 crías idénticas (Fig. 4.38.). En la especie humana los gemelos idénticos o monocigóticos, son producto de la poliembrionía. (Fig.4.39.)



Fig. 4.38. Armadillo (*Dasypus novemcinctus*), se reproduce por poliembrionía. <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2/ESO/Reprodycoordinacion/imagenes/armadillo.jpg>



Fig. 4.39. Se muestran (arriba) unos gemelos de panda y unas gemelas monocigóticas o gemelas univitelinos (abajo), es decir, que son producto de la poliembrionía. <http://www.brasilecola.com/biologia/casos-especiais2.htm> y <http://www.olebebe.com/2009/02/02/concepcion-de-gemelos-o-mellizos/>

## Actividades de Aprendizaje

### Actividad Práctica

#### “Observación de la gemación en levaduras”

##### Introducción:

La reproducción es la capacidad que tienen todos los seres vivos, para formar nuevos organismos, iguales o semejantes a ellos y de ésta manera garantizar la continuidad de la vida sobre la tierra.

Existen dos formas de reproducción, que son la sexual y la asexual. En la reproducción asexual participa un solo progenitor, que le transmite todos sus genes a su descendencia, por lo que son idénticos a él. Esta forma de reproducción comprende varias modalidades como la fisión binaria, gemación, esporulación, etc.

La gemación consiste en la formación de una pequeña protuberancia en el progenitor, que se llama yema, la cuál aumenta ligeramente de tamaño, madura y con el tiempo se separa, para dar origen a un nuevo individuo, independiente e idéntico.

Uno de los organismos que se reproducen por gemación son las levaduras. Son hongos microscópicos, unicelulares, que pertenecen al filum Ascomycota, son esféricas o alargadas se reproducen asexualmente principalmente por gemación y también se pueden reproducir sexualmente. Una de las especies más importantes es *Saccharomyces cerevisiae*, ya que realiza la fermentación alcohólica y tienen gran importancia económica,

debido a que intervienen en la producción de cerveza, vino, pan, sake, entre otros.

##### Objetivo

- Que el alumno comprenda la importancia del proceso de la reproducción asexual por gemación.
- Que el alumno aplica habilidades y actitudes al diseñar y llevar a cabo investigación documental y experimental, que contribuyen a la comprensión del proceso de la reproducción asexual por gemación.
- Que comunique en forma escrita la información derivada de la actividad experimental.

##### Diseño Experimental

##### Material de laboratorio

- 1 microscopio óptico
- 2 portaobjetos
- 2 cubreobjetos
- 1 aguja de disección
- 2 vasos de precipitado de 50 ml.
- 1 gotero
- 1 pipeta de 10 ml.
- 1 balanza
- 1 termómetro

##### Sustancias y Organismos

- Lactofenol-safranina
- 1 gr. de Levadura de cerveza  
*Saccharomyces cerevisiae*
- 2 gr. de Azúcar
- 20 ml. de Agua a 27°C

## Método

- 1) Se tiene todo el material limpio y seco.
- 2) Medir con la pipeta 10 ml. de agua tibia y ponerlos en el vaso de precipitado, pesar 1 gr. de azúcar y agregarla al vaso y disolver con la aguja de disección.
- 3) Pesar 0.5 gr. de levadura y agregarla al vaso de precipitado y mezclar muy bien.
- 4) Poner con el gotero 2 o 3 gotas de la mezcla en un portaobjetos, colocar el cubreobjetos y observar al microscopio. Tomar nota de lo observado y hacer dibujos si es necesario.
- 5) Repetir el paso 4, pero antes de colocar el cubreobjetos poner una gota de lactofenol-safranina, revolver con la aguja de disección y poner el cubreobjeto. Observar al microscopio y tomar nota de las observaciones.
- 6) Poner 10 ml. de agua tibia en un vaso de precipitado y agregar 0.5 gr. de levadura y con la aguja de disección mezclar bien.
- 7) Poner con el gotero 2 o 3 gotas de la mezcla en el portaobjetos, poner el cubreobjetos y observar
- 8) Poner 2 o 3 gotas de la mezcla en un portaobjetos y agregar 1 gota de lactofenol safranina, colocar el cubreobjetos y observar y tomar nota.
- 9) Compara los resultados que observaste y analízalos para que saques las correspondientes conclusiones
- 10) Hacer un reporte, en el que se incluyan los dibujos observaciones y conclusiones.

## Cuestionario

- Que tipo de reproducción observaste en ésta practica y cuales son sus características.
- Cuales son las ventajas y desventajas de ésta forma de reproducción.
- De acuerdo con las características de ésta forma de reproducción ¿Qué aplicaciones tiene?
- ¿Qué diferencias observaste con y sin lactofenol-safranina?

## Bibliografía

- Solomon, E., Berg, L., “Biología”, Ed. McGraw-Hill, 5ª. ed., México. 2001. pp. 495, 538, 1050.
- Mader, S., “Biología”, Ed. McGraw-Hill, Séptima ed. Colombia, 2003, pp 549
- Starr, C., Taggart, R., “Biología . La unidad y diversidad de la vida” Ed. Thomson, Décima ed. Mésico, 2004, pp. 760,
- Campbell, N., Mitchell, L., “Biología: Conceptos y relaciones”, Ed. Prentice Hall, 3ª. ed., México, 2001, pp. 127, 138, 534

## Actividad Práctica

### “Observar la mitosis en células de raíz de cebolla”

Todas las células y los seres vivos se reproducen, porque es el proceso que garantiza la continuidad de la vida sobre la Tierra generación en generación.

Una de las formas de reproducción es la mitosis, que se caracteriza por formar dos

células hijas idénticas, que se inicia al terminar la fase G<sub>2</sub> de la interfase, tener cromosomas duplicados, es decir que cada uno está formado por dos cromátidas hermanas, además es un proceso continuo que realizan las células somáticas (excepto las células que no se dividen), que para su estudio se ha sido dividido en fases que son:

**Profase:** se condensan los cromosomas y se hacen visibles al microscopio, desaparece la envoltura nuclear y el nucleolo, se forma el huso mitótico y cada cromátida se une a una de los microtúbulos del huso, por el cinetocoro.

**Metafase:** Los pares de cromátidas se acomodan en el plano ecuatorial de la célula.

**Anafase:** Los microtúbulos se empiezan a acortar y separan a las cromátidas, llevando a cada juego a su respectivo polo de la célula y las cromátidas se consideran ahora como un cromosoma independiente.

**Telofase:** Es la última etapa de la mitosis, en donde los cromosomas se desenrollan y son rodeados por una nueva envoltura nuclear, aparece el nucleolo y desaparecen los microtúbulos del huso.

**Citocinesis:** No forma parte de la mitosis, pero es la etapa que sigue de la telofase y en ella se divide el citoplasma, para formar dos células hijas idénticas; que son de menor tamaño que la célula madre, entrando enseguida a la etapa G<sub>1</sub> de la interfase para crecer y llevar a cabo la elaboración de una gran cantidad y variedad de proteínas y otras moléculas, además de de nuevos organelos celulares y forma parte del ciclo celular junto con la etapa S y G<sub>2</sub>.

La mitosis está relacionada con el crecimiento y desarrollo de organismos pluricelulares, la regeneración y en algunos organismos con la reproducción.

## Objetivos

- Que el alumno comprenda el papel que tiene la mitosis en la continuidad de los sistemas vivos.
- Que el alumno observe, comprenda e identifique las diferentes fases de la mitosis en radícula de cebolla.
- Que el alumno aplique habilidades y actitudes al diseñar y llevar a cabo investigación documental y que experimental, que contribuye a la comprensión del proceso de la reproducción asexual por gemación.
- Que comunique en forma escrita la información derivada de la actividad experimental.

## Diseño Experimental.

### Material de laboratorio

1 microscopio  
1 navaja nueva o bisturí  
1 aguja de disección  
2 portaobjetos  
2 cubreobjetos  
1 vidrio de reloj  
Toallas de papel

### Sustancias y Organismos

Ácido clorhídrico 1 N  
Ácido acético 45 %  
Acetorceína  
1 cebolla pequeña con raíces

### Método

- 1) A la cebolla se le insertan cuatro palillos alrededor de la parte media y en un frasco se pone agua suficiente para que las raíces estén en contacto

con ella, y se dejará alrededor de 5 días, hasta que crezcan. Se revisará todos los días que estén dentro del agua.

- 2) Tener el material completo y limpio.
- 3) Se harán 6 cortes en las puntas de las radículas de la cebolla de aproximadamente 1 mm.
- 4) Se colocan en un vidrio de reloj y se agrega suficiente cantidad de ácido clorhídrico 1N hasta que queden cubiertas y se deja 8 min.
- 5) Se absorbe con una servilleta el HCl y se agrega suficiente acetoriceína a que queden cubiertos los cortes y dejarla por 20 min. (si se seca agregar más acetoriceína).
- 6) Con la aguja de disección pasar los cortes al portaobjetos y lavar con 1 o 2 gotas de ácido acético hasta que salga claro y agregar otra gota del ácido acético.
- 7) Colocar encima el portaobjetos y hacer el squash es decir aplastar con la goma del lápiz.
- 8) Observar al microscopio a 10 X y 40X, tomando nota e identificando las fases de la mitosis.
- 9) Hacer el reporte de lo observado a lo largo de la práctica y sus conclusiones.

### **Cuestionario**

- ¿Por qué se utilizó la radícula de la cebolla para observar la mitosis?
- ¿Cuáles fueron las etapas de la mitosis que encontraste con más frecuencia? Explica porque
- ¿Qué factores crees que intervienen para que se lleve a cabo la mitosis?
- Que aplicaciones tiene el conocimiento de la mitosis.

- ¿Qué diferencias hay entre la mitosis de células vegetales y animales y porque?
- ¿Qué relación hay entre el cáncer y la mitosis?

### **Bibliografía**

- Solomon, E., Berg, L., “Biología”, Ed. McGraw-Hill, 5ª. ed., México. 2001. pp. 202-209.
- Starr, C., Taggart, R., “Biología. La unidad y diversidad de la vida” Ed. Thomson, Décima ed. México, 2004, pp. 150-160.
- Campbell, N., Mitchell, L., “Biología: Conceptos y relaciones”, Ed. Prentice Hall, 3ª. ed., México, 2001, pp. 126-142.
- Curtis, H., Barnes, S. “Biología”, Ed. Médica Panamericana, 6ª. ed. España, 2001, pp.271-288

## Sopa de Letras.

Q	S	E	I	C	H	A	P	L	O	I	D	E	S	I	A
C	H	I	A	T	C	T	E	L	O	F	A	S	E	O	M
A	L	U	Q	U	I	A	S	M	A	S	W	A	B	R	R
E	S	I	S	O	T	I	M	M	E	T	A	F	A	S	E
A	C	R	D	O	O	I	A	E	T	G	S	R	D	A	D
R	E	P	L	I	C	A	C	I	O	N	E	E	I	M	U
T	N	A	N	O	I	N	U	O	T	E	X	T	T	A	C
E	T	Z	M	B	N	O	F	S	U	M	U	N	A	E	C
T	R	I	O	D	E	I	U	I	O	K	A	I	M	S	I
R	O	O	A	K	S	C	I	S	S	A	L	I	O	E	O
A	S	E	R	H	I	A	I	V	B	I	W	Ñ	R	X	N
D	O	Ñ	O	W	S	M	A	T	I	L	O	S	C	U	A
S	M	P	O	L	I	E	M	B	R	I	O	N	I	A	L
A	A	M	I	T	O	G	C	U	A	T	R	O	Z	L	Q
E	N	T	R	E	C	R	U	Z	A	M	I	E	N	T	O

Lee las preguntas cuidadosamente y busca las respuestas en el tablero.

- 1.- ¿Cómo se llama a la formación de varios embriones a partir de un solo huevo?
- 2.- ¿Cómo se llama la forma de reproducción asexual en que se forma una protuberancia en el progenitor y la división no es equitativa?
- 3.- ¿La etapa de la mitosis en la que se forma la placa ecuatorial es?
- 4.- ¿El tipo de reproducción de organismos que proporciona gran variabilidad a los descendientes es?
- 5.- ¿La etapa del ciclo celular en que la célula no se está reproduciendo, pero tiene gran actividad es?
- 6.- ¿Cómo se le llaman a las células que tienen la mitad de los cromosomas característicos de la especie?
- 7.- ¿Qué tipo de reproducción celular es la responsable de la formación de gemelos?
- 8.- ¿Cómo se le llama al proceso por el que se combinan las características paternas con las maternas, en la meiosis?
- 9.- ¿El proceso que realiza el ADN, en el que se duplican los cromosomas, se llama?
- 10.- ¿El proceso que se encarga de la división citoplasmática en la división celular es?
- 11.- ¿El tipo de reproducción celular que da origen a células idénticas y esta

relacionado con el crecimiento, regulación y reproducción asexual es?

12.- ¿La estructura que interviene en la división celular y es el principal centro organizador de los microtúbulos es?

13.- ¿Como se le llaman a los brazos de un cromosoma duplicado, que están unidos por el centrómero?

14.- ¿La forma de reproducción asexual que da origen a dos células idénticas es?

15.- ¿El tipo de reproducción de organismos que no da variabilidad a los descendientes es?

16.- ¿Qué nombre se le da a la primera división meiótica, de acuerdo a la separación de las cromátidas?

17.- ¿Cómo se llaman las estructuras que mantienen juntas a las cromátidas no hermanas en la meiosis, y que además son sitios de entrecruzamiento.

18.- ¿La última etapa de mitosis es la?

19.- ¿La estructura formada por microtúbulos que mueven a los cromosomas en la anafase es?

20.- ¿Como se llaman a los cromosomas duplicados que se aparean en el inicio de la meiosis?

### Sugerencias de Actividades

Que los alumnos hagan una investigación bibliográfica sobre:

- “Las consecuencias para la salud de los organismos, cuando se altera el ciclo celular”

- ¿Qué relación hay entre el cáncer, las células madre y la mitosis?

- “Relacionar el ciclo de vida de la *Taenia solium* con el tipo de reproducción que realiza y las ventajas o desventajas que ésta tiene”

- Hacer un cuadro comparativo de las características de la mitosis y la meiosis.

- Hacer un mapa conceptual sobre la reproducción a nivel celular y de organismos.

- Pasar videos sobre mitosis y meiosis y al terminar hacer una discusión en clase sobre el video o que resuelvan un cuestionario.

- La formación de óvulos y espermatozoides en la especie humana que relación tiene con la gametogénesis

- Que aplicaciones tiene el estudio de la mitosis a la medicina, investigación en medicamentos, etc.

- Que aplicaciones tiene el estudio de la meiosis en la medicina, ganadería, etc.

### Lectura de los artículos

- Calderón, E., López. A., “De quién es este ombliguito”. ¿Cómo vez?, Año 7, No. 75, pp. 10-14. Vargas-Parada, L., Laclette, J., “El cerdo no tiene la culpa”, ¿Cómo ves?, Año 3, No. 33, pp. 10-14.

- Córdoba, A. “Ellos compiten ellas eligen”, ¿Cómo ves? Año 7, No. 77, pp. 10-14.

- Hurst, L., Randerson, J., “Parásitos manipuladores del sexo”, Scientific American, Latinoamérica, Año 1, No. 1. pp. 80-85.

### Questionario de autoevaluación A

#### Relaciona ambas columnas

**Instrucciones:** Lee las preguntas y coloca en el paréntesis la letra de la respuesta correcta, pudiéndose repetir las respuestas.

- 1.- ¿Como se le llama a las células que tienen dos juegos de cromosomas (2n), uno proveniente de la madre y el otro del padre? ( )
- 2.- ¿De que etapa del ciclo celular forman parte las fases G<sub>1</sub> , S, G<sub>2</sub>? ( )
- 3.- ¿En que etapa del ciclo celular se realiza la duplicación del ADN? ( )
- 4.- ¿Qué tipo de división celular forma células hijas haploides? ( )
- 5.- ¿En que etapa del ciclo celular, la célula sintetiza una gran cantidad y variedad de proteínas así como organelos celulares? ( )
- 6.- ¿Qué proceso de división celular realiza dos divisiones consecutivas? ( )
- 7.- ¿Cómo se le llama a los cromosomas similares en morfología y constitución genética, siendo heredado un miembro por el padre y el otro por la madre? ( )
- 8.- ¿Cómo se le llama a las dos mitades idénticas de un cromosoma duplicado? ( )

9.- ¿Al proceso que intercambia fragmentos de cromosomas paternos con maternos durante la meiosis se llama? ( )

10.- ¿En qué etapa de la mitosis se mueven los cromosomas hacia los polos? ( )

11.- ¿Qué división celular esta relacionada con el crecimiento, regeneración, desarrollo y reproducción asexual? ( )

12.- ¿Qué etapa del ciclo celular sigue de la telofase y esta relacionada con la división del citoplasma? ( )

13.-La fisión binaria, esporulación y gemación ¿con que tipo de reproducción celular esta relacionada? ( )

14.-De acuerdo al número de cromosomas ¿los gametos son células? ( )

15.- ¿Cómo se le llama al tipo de reproducción en que a partir de un óvulo no fecundado se originan nuevos organismos? ( )

#### Respuestas

- 1.-G<sub>1</sub>
- 2.-cromátidas
- 3.-haploides
- 4.-diploides
- 5.-mitosis
- 6.-interfase
- 7.-entrecruzamiento
- 8.-síntesis S
- 9.-meiosis
- 10.-citocinesis
- 11.-homólogos
- 12.-anafase
- 13.-partenogénesis

**Cuestionario de Autoevaluación B**

**Contesta correctamente, poniendo el nombre de la fase y a que tipo de reproducción se refiere.**

1.- ¿En que etapa se lleva a cabo el entrecruzamiento?

---

2.- ¿La cromatina se compacta, emigran los centriolos a los polos, se forma el huso mitótico y desaparece el núcleo en?

---

3.- ¿Los cromosomas haploides duplicados están en la zona ecuatorial en?

---

4.- ¿Aparece la envoltura nuclear y el nucleolo, se desintegran los microtúbulos del huso y se forman dos núcleos diploides en?

---

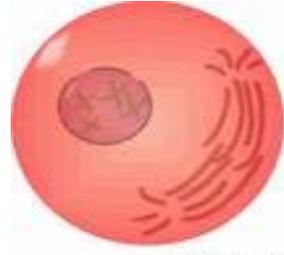
5.- Hacer un cuadro con las diferencias entre la mitosis y la meiosis.

**Ejercicio**

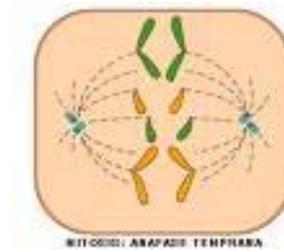
**Identifica y anota en el inciso a) a que etapa pertenece, b) a que proceso (mitosis o meiosis) corresponde.**



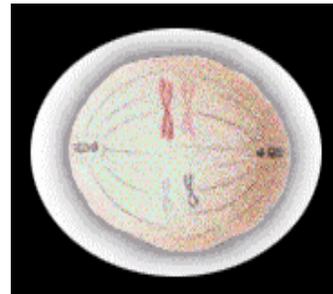
1.- a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



2.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



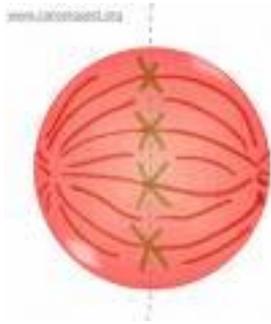
3.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



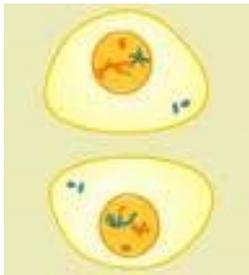
4.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



5.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



6.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_



7.-a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_

8.-Hacer el esquema de un cromosoma indicando: los cromátidas hermanas, cinetocoro y centrómero.

9.- Hacer un esquema del entrecruzamiento y cuando se lleva a cabo.

10.- Dibujar la telofase II

### Glosario

- **Adventicia:** Raíz que crece lateralmente sobre un tallo o de las ramas que crecen sobre una raíz.
- **Aster:** Sistema de microtúbulos dispuestos de forma radial, como una estrella, que emana de un centrómero o de un polo del huso mitótico,
- **Apoptosis:** Forma de muerte celular, también conocida como muerte

celular programada, el cuál activa un programa suicida en la célula, que conduce posteriormente a la fragmentación del ADN, etc. Es un proceso normal que ocurre en organismos pluricelulares.

- **CDK:** Iniciales del inglés para *cyclin - dependent - kinases*, que se traduce como *quinasas dependientes de ciclina*.
- **Centríolos:** Formación microtubular cilíndrica y corta, estructuralmente similar a un corpúsculo basal. Generalmente las células animales tienen un par de centriolos en la parte central del centrosoma.
- **Centrosoma:** Organelo celular, localizado en la parte central de las células animales, siendo el principal centro organizador de microtúbulos y que actúa como polo del huso mitótico durante la mitosis. En la mayoría de las células animales contiene un par de centriolos.
- **Ciclinas:** Proteínas sintetizadas continuamente durante la interfase y degradadas súbitamente por enzimas al final de cada mitosis. Durante el ciclo celular su concentración fluctúa y al hacerlo actúan como reguladores de la actividad enzimática de las quinasas.
- **Cigoto:** En la reproducción sexual, célula diploide (óvulo fecundado) que se forma por la fusión de dos gametos haploides.
- **Citocinesis:** Es el proceso por el cual una célula se separa de la célula "hermana", lo que usualmente ocurre al final de la división celular.
- **Cromátida:** Es una copia de un cromosoma formada por la replicación del ADN, que todavía está unida a la otra copia a través del centrómero. Las dos cromátidas

idénticas se denominan cromátidas hermanas.

- **Diploide:** Que contiene dos juegos de cromosomas homólogos y por lo tanto, dos copias de cada gene o locus genético.
- **Eucariontes** (del griego *eu* = bueno, verdadero; *karyon* = núcleo, nuez), organismos caracterizados por poseer células con un núcleo verdadero rodeado por membrana. El registro arqueológico muestra su presencia en rocas de aproximadamente 1.200 a 1500 millones de años de antigüedad.
- **Gameto:** (del griego gamos = "unión de los sexos", esposa), célula reproductora [haploide](#) (n) que cuando su núcleo se fusiona con otro gameto (n) del sexo opuesto origina un cigoto (2n), que por mitosis desarrolla un individuo con células somáticas diploides (2n), en algunos hongos y protistas pueden por meiosis, producir células somáticas haploides (n).
- **Haploide:** Que tiene un solo juego de cromosomas, como una célula espermática o una bacteria. Se distingue de diploide (dos juegos).
- **Histonas:** Miembro de un grupo de proteínas pequeñas y abundantes, ricas en arginina y lisina. Cuatro de estas histonas forman el nucleosoma en el ADN de los cromosomas eucariotas.
- **Huso mitótico:** Serie de microtúbulos de proteína y moléculas asociadas, en forma de balón de fútbol americano, que se forma entre los polos opuestos de una célula eucariota durante la mitosis y mueve a los cromosomas duplicados, separándolos entre sí.
- **Microtúbulo:** Estructura cilíndrica, alargada y hueca, compuesta por la proteína tubulina.

- **Ovocito primario:** Célula diploide, derivada de una ovogonia por crecimiento y diferenciación, que sufre meiosis para producir el óvulo.
- **Plántula:** planta pequeña que crecerá.
- **Replicación del ADN:** Síntesis de una nueva doble hélice de ADN antes de la mitosis y meiosis en células eucariotas y durante la fisión en células procariotas.
- **Sésiles:** Que carecen de movilidad.
- **Somático:** Propio de o relativo a cuerpo de un ser vivo.
- **Viable:** Que puede vivir, capaz de vivir.
- **Yema:** Excrecencia producida asexualmente que da origen a un nuevo individuo.

### Bibliografía

- Alberts, B., Jonson, A., et. al. "Biología molecular de la célula", Ed. Ediciones Omega. Cuarta edición. Barcelona, 2004. pp.
- Audesirk, T., Audesirk G., "Biología, La vida en la tierra", Ed, Prentice-Hall Hispanoamericana. Octava ed., México, 2008. pp.
- Biggs, A., Kapica, C., Lundgren, L. "Biología, La dinámica de la vida", Ed. McGraw-Hill, México, 2000, pp. 550.
- Campbell, N., Mitchell, L., "Biología, Conceptos y relaciones", Ed. Pearson Educación. Cuarta ed., México, 2001, pp. 809
- Curtis, H., Barnes, N., "Biología", Ed. Médica Panamericana, Sexta ed., España, 2006, pp.1370.
- De Robertis, E., "Biología celular y molecular". Ed. El Ateneo, 3ª. ed. Argentina. Pp. 327-351

- Grassé P., “La vida de los animales”, Ed. Planeta, España. 1982. pp.
- Hellier, T., Peach, J. “Plantas”, Ed. Ediciones B, S, A., Barcelona, España, 1998, pp 36.
- Mader, S., “Biología”, Ed. McGraw-Hill., Novena ed., Colombia, 2008, pp 935.
- Oram, R., “Biología, Sistemas vivos”, Ed. McGraw-Hill, China, 2007, pp
- Smallwood, W., Green E., “Biología”, Ed. Publicaciones Cultural. México. 1998. pp 164
- Solomon, E., Berg, L., Martin, D., “Biología”, Ed. McGraw-Hill, Quinta ed., México, 2001,
- Starr, C., Taggart, R., “Biología, La unidad y diversidad de la vida” Ed. Thomson, Décima ed. México, 2005. pp 884.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Reproducci%C3%B3n-asesual>
- <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/157/img/rep098.g>
- [www.porquebiotecnologia.com.ar/.../ec\\_56.aspbioseguridad.blogspot.com/2006/01/papa-bt-en-...](http://www.porquebiotecnologia.com.ar/.../ec_56.aspbioseguridad.blogspot.com/2006/01/papa-bt-en-...)
- <http://www.lunedemiel.tm.fr/espagnol/6b.gif>
- <http://html.rincondelvago.com/procariotas-eucariotas.html>
- [www.biologia.edu.ar/reproduccion/asesual.htm.133.25.19.145/...var02/spirogyra14b.html](http://www.biologia.edu.ar/reproduccion/asesual.htm.133.25.19.145/...var02/spirogyra14b.html)
- <http://cache.eb.com/eb/image?id=10846&rendTypeId=4>
- <http://cache.eb.com/eb/image?id=10846&rendTypeId=4>
- [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso\\_romero\\_barcojo/trabajos\\_alumnado/reproduccion/imagenes\\_la\\_reproduccion/rep11.jpg](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso_romero_barcojo/trabajos_alumnado/reproduccion/imagenes_la_reproduccion/rep11.jpg)
- <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/mitosis/graphics/cellcycle.gif>
- <http://www.professorjarsbio.com.br/funfos2.jpg>
- <http://www.lunedemiel.tm.fr/espagnol/6b.gif>
- [http://estaticos01.cache.el-mundo.net/albumes/2006/12/20/dragones/f718ce1d476e6288ed76b26068127b7b\\_extras\\_albumes\\_0.jpg](http://estaticos01.cache.el-mundo.net/albumes/2006/12/20/dragones/f718ce1d476e6288ed76b26068127b7b_extras_albumes_0.jpg)
- <http://www.monografias.com/trabajos24/reproduccionanimal/Image12691.gif>



## Capítulo 5

### *Mecanismos de la Herencia*

*Los genes al igual que los diamantes, son para siempre.*

**Richard Dawkins.**

## ÍNDICE

	Pág.
• <b>Mecanismos de la Herencia</b>	<b>180</b>
• <b>Objetivos del Capítulo</b>	<b>180</b>
-Concepos Previos	<b>181</b>
• <b>Conceptos Indispensables</b>	<b>181</b>
• <b>Herencia Mendeliana</b>	<b>182</b>
-Gregor Johann Mendel	<b>182</b>
-Leyes de Mendel	<b>184</b>
• <b>Herencia no Mendeliana</b>	<b>189</b>
-Dominancia Incompleta	<b>189</b>
-Codominancia	<b>193</b>
-Alelos Múltiples	<b>193</b>
-El Sistema Rh	<b>195</b>
• <b>Teoría Cromosómica de la Herencia</b>	<b>196</b>
-Determinación del Sexo	<b>198</b>
-Herencia Ligada al Sexo	<b>199</b>
• <b>Concepto de Gene y Genoma</b>	<b>201</b>
• <b>Mutaciones</b>	<b>201</b>
• <b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>208</b>
• <b>Actividades de Evaluación</b>	<b>218</b>
-Cuestionarios	<b>218</b>
• <b>Glosario</b>	<b>220</b>
• <b>Bibliografía</b>	<b>220</b>
• <b>Hoja de Respuestas</b>	<b>221</b>

## Mecanismos de la Herencia

### Introducción

El proceso de transmisión de la información genética de padres a hijos recibe el nombre de **herencia**, y la ciencia que se ocupa del estudio de la herencia es la **Genética**, la cual intenta aclarar la naturaleza del material genético transmitido a los descendientes, como se produce la transferencia de dicho material y la forma en como se expresa en los organismos. Los rasgos que se heredan reciben el nombre de **características**.

La Genética es una rama de las ciencias biológicas que surge como tal a principios del siglo XX, aunque los trabajos del monje austriaco **Gregor Johann Mendel** habían marcado el inicio de esta disciplina en 1854, a pesar de no haber causado interés en su momento, sino hasta su redescubrimiento en 1900. En los tiempos en que Mendel se interesó por el estudio de la herencia, este era un conocimiento empírico reservado sólo a los horticultores y ganaderos.

Algunos de los conocimientos que se tenían con respecto a la herencia de caracteres, antes de los trabajos de Mendel, son los siguientes:

El **Preformismo** que era la supuesta existencia de un diminuto ser humano que estaba preformado dentro de los gametos, se suponía que los caracteres hereditarios estaban presentes desde antes de que ocurriera la fecundación.

La **Pangénesis**, concepto según el cual los gametos contenían representantes de todas las partes del cuerpo para dirigir la construcción del nuevo individuo.

La idea de los **Caracteres Adquiridos**, afirmaba que los cambios pequeños y graduales que experimentan los individuos de una especie durante su vida, son transmitidos a sus descendientes.

Otra suposición era que las características se transferían al **Mezclarse la Sangre** del padre y la madre, y entonces, por ello se podía tener buena o mala sangre, o tener sangre real o pura.

Los trabajos que Mendel realizó, al cruzar plantas de chícharo con diferentes características hereditarias y determinar el patrón de transmisión de dichas características a los descendientes, demostrarían que la herencia se basa en la transmisión de factores individuales, que se da por la segregación de partículas y no por un proceso de combinación.

Mendel es considerado como el fundador de la Genética y sus leyes constituyen la base elemental para la enseñanza de esta disciplina.

### Objetivos del Capítulo

#### El Lector:

- Explica diferentes mecanismos hereditarios.
- Resuelve problemas que involucren la transmisión de caracteres, según distintos mecanismos hereditarios.
- Reconoce que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos.
- Relaciona las mutaciones con la variabilidad biológica.
- Aplica habilidades y actitudes, al diseñar y llevar a cabo tanto investigaciones documentales como experimentales, que contribuyan a la

comprensión de la transmisión y modificación de las características hereditarias.

- Comunica de forma oral y escrita la información derivada de las actividades realizadas.

**Conceptos previos:** ADN, ARN, bases nitrogenadas, cromosomas, fecundación, gametos, meiosis, mitosis, nucleótidos, reproducción celular, reproducción en organismos.

## Conceptos Indispensables

A continuación se hablará de algunos conceptos cuyo manejo es indispensable para la correcta comprensión del tema de la herencia, y que se utilizarán a lo largo de todo el capítulo, algunos ya se han tratado y sólo se recordarán, pero otros se mencionarán por primera vez.

La **Genética** es la parte de la Biología que estudia los mecanismos de transmisión de caracteres de generación en generación (herencia biológica).

Un **gen** es un fragmento de ADN que codifica la información necesaria, para sintetizar la proteína responsable de la aparición de un determinado carácter en un individuo.

Cuando se habla de un **locus** se refiere a la posición que tiene un gen en un cromosoma, su plural es **loci**.

Cada **carácter** (rasgo que se hereda) viene determinado por dos genes, uno heredado de la madre y otro del padre, por lo que cada individuo tiene dos alelos que pueden ser iguales o diferentes.

Un gen puede codificar variedades distintas para un mismo carácter, como el color de los ojos, que pueden ser claros u oscuros,

o el pelo que puede ser rizado o lacio, cada uno de estos genes que codifican las distintas variedades de un mismo carácter se denominan **alelos**.

Los alelos pueden ser **dominantes** o **recesivos**, el primero es el que se expresa siempre que esta presente, y el otro solo se expresa si no esta el dominante.

El símbolo que se utiliza para representar la primera generación de descendientes, producto de la cruce de los progenitores es la **F<sub>1</sub>**, y la segunda generación **F<sub>2</sub>**, es el resultado de la cruce entre organismos de la **F<sub>1</sub>**.

Cuando los alelos de un individuo son diferentes se dice que es **heterocigoto** para ese carácter, pero si los alelos son iguales es **homocigoto** o **línea pura**, como también se les llama.

Los homocigotos pueden ser **dominantes** o **recesivos**, dependiendo de si los dos alelos son dominantes o recesivos.

Se denomina **genotipo** al conjunto de genes de un organismo, y **fenotipo** al conjunto de caracteres que manifiesta este organismo, o sea a su apariencia física.

Los genes se representan por **letras del alfabeto**, en minúscula para los alelos recesivos de ese mismo gen, o bien en mayúsculas para los alelos dominantes.

En los **alelos codominantes**, ningún alelo domina sobre el otro y en la forma heterocigota se muestran características de ambos progenitores.

La **dominancia incompleta** es cuando el fenotipo del heterocigoto, es intermedio entre los dos homocigotos que le dieron origen.

La **cruza de prueba**, se realiza para determinar si el genotipo de una planta con el fenotipo dominante es homocigoto o heterocigoto.

Los **híbridos** son los descendientes de individuos genéticamente distintos, los cuales no pueden reproducirse porque son estériles. Mendel llamo híbridos a los descendientes de sus cruzas a pesar de ser variedades de la misma especie.

Los cromosomas no sexuales se llaman **autosomas**, las enfermedades genéticas cuyo origen se encuentra en estos cromosomas reciben el nombre de **autosómicas**.

Las **mutaciones** son todos los cambios que pueden ocurrir en el ADN de un organismo que producen efectos distintos a la condición normal, estos cambios también pueden darse en los cromosomas.

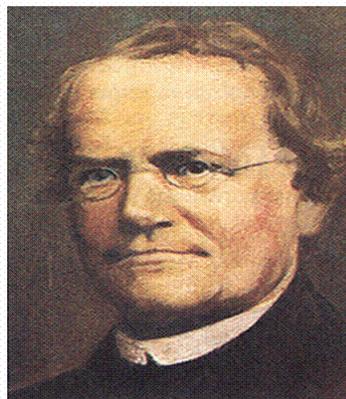
## Herencia Mendeliana

### Gregor Johann Mendel

**Johann Mendel** nació el 20 de julio de 1822 en la villa de Hiezendorf, situada en la actual República Checa, y perteneciente en aquel tiempo al Imperio Austrohúngaro (Fig.5.1.). En 1843 decide asilarse en la abadía de Santo Tomás de Brünn, Austria (actualmente Brno, República Checa), de la cual llegaría a ser su abad. Al ingresar al monasterio agustino fue rebautizado con el nombre de Gregor y enviado a la Universidad de Viena para terminar sus estudios.

Mendel principalmente, tenía una formación de físico y matemático, pero también poseía conocimientos de Biología, ya que provenía de una familia de

agricultores expertos en el cultivo de árboles frutales.



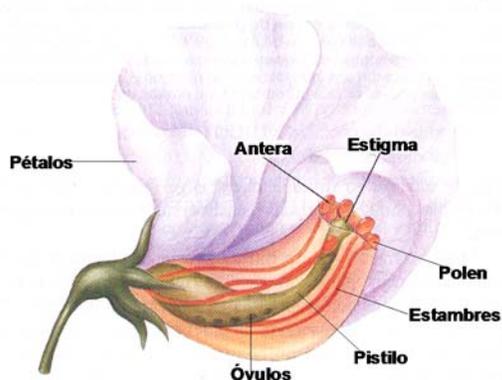
**Fig. 5.1. Fotografía de Gregor Johann Mendel, padre de la Genética. Tomado de [http://www.library.villanova.edu/services/exhibits/gregor\\_johann\\_mendel.htm](http://www.library.villanova.edu/services/exhibits/gregor_johann_mendel.htm)**

En 1854, Mendel inició sus trabajos de investigación científica en los jardines del monasterio, para llevar a cabo sus estudios utilizó plantas de chícharo (*Pisum sativum*), que tenían las características particulares que deseaba estudiar, eligió a estos organismos porque son fáciles de cultivar, con ciclos de vida relativamente cortos, presentan caracteres discontinuos, las flores de los chícharos se autofecundan, la polinización se puede controlar y esto permite hacer la fecundación artificial cruzada.

Las plantas de chícharo se reproducen sexualmente, presentan los órganos sexuales masculino (estambres) y femenino (pistilo) en la misma flor ya que estas son **hermafroditas** y se **autofecundan**, en los estambres se forma el polen que representa a los gametos masculinos y en el pistilo se producen los óvulos que son los gametos femeninos.

La **polinización** ocurre en el momento en que el polen llega al pistilo y los óvulos son

**fertilizados**, posteriormente maduran hasta convertirse en semillas. (Fig.5.2.)



**Fig. 5.2.** Estructuras reproductoras de la flor de chícharo, se muestran los estambres con las anteras productoras del polen, el pistilo con los óvulos dentro y el estigma que recibe al polen. Tomado de Solomon 2001.

El proceso de **fecundación artificial cruzada** que Mendel realizó, consiste en transferir polen de una planta al pistilo de otra, con la finalidad de fertilizar a los óvulos con un polen diferente al que ella misma produce y que presenta características contrastantes, por ejemplo: cruzo plantas con tallos altos con plantas con tallos enano, plantas con semillas amarillas con plantas con semillas verdes, etc. Mendel efectuó este cruzamiento controlado, protegiendo a las flores para evitar que pudiera haber contaminación con un polen extraño.

Para los estudios con cruzamientos de plantas, Mendel trabajó con 34 variedades de chícharos con diferentes características, que puso a prueba durante dos años para ver la constancia de su descendencia y de estas seleccionó 22, todas de *Pisum sativum*, con esto se aseguró que las plantas con las que realizaría sus investigaciones, fueran líneas puras, y los caracteres que decidió estudiar fueran claramente

contrastantes. Cultivo cerca de 27,000 plantas, de las cuales obtuvo unas 300,000 semillas. Cuando las vainas maduraban recogía las semillas para volver a sembrarlas y poder observar los resultados, a los descendientes los llamo **híbridos** y a sus experimentos **hibridación**.

En la época en que Mendel realizó sus experimentos con plantas de chícharo, las hibridaciones se llevaban a cabo entre organismos de diferentes especies y no entre variedades de la misma especie, como él lo hizo.

**Sabías que:** Un ejemplo de organismos híbridos son: la mula que es el resultado de la cruce entre una yegua y un burro, o el burdégano que es el resultado de un cruce entre un caballo y una burra.

Mendel presentó los resultados de sus experimentos, en 1865 en la **Sociedad de Brno** para el estudio de las ciencias naturales. El trabajo estaba formado por dos artículos, los cuales fueron publicados en la revista de la misma sociedad con el título de “**Experimentos de Hibridación en Plantas**”. A pesar de que la revista en donde Mendel publicó sus trabajos fue enviada a Berlín, Viena, Estados Unidos y Londres, su obra se mantuvo desconocida y sin despertar ningún interés en su época. Sin embargo, se tiene conocimiento de que los trabajos de Mendel fueron citados en algunas tesis doctorales, libros y en la edición de la Enciclopedia Británica de 1881.

¿Cuales fueron las causas por las que el trabajo de Mendel paso inadvertido en su momento? Las pocas publicaciones que había en esa época, la modestia con la que se comportaba, las responsabilidades de su cargo en el monasterio, pero sobre todo, la situación sociopolítica que vivían las poblaciones de origen eslavo que fueron

discriminadas por los pueblos de ascendencia germano-austríaco, ello debió contribuir a que la obra de Mendel no alcanzara en su tiempo la trascendencia que merecía.

Fue hasta 1900 cuando tres biólogos en forma independiente reencontraron la pista de los trabajos que el monje agustino había publicado 34 años atrás, los investigadores redescubridores fueron, el holandés Hugo de Vries (1848-1935), el alemán Karl Correns (1864-1933), y el austriaco Erich Tschermak (1871-1962), que tenían en común el haber leído el libro “*Les Plantes Hybrides*”, publicado en 1881 por el botánico alemán W.D. Focke, en el cual se cita en repetidas veces el trabajo de Mendel, lo cual los llevó a buscar la obra original. A los trabajos redescubiertos los llamaron, en su honor “**Leyes de Mendel**”.

Quizás cuando las leyes de Mendel se redescubrieron, los avances en el perfeccionamiento del microscopio y las técnicas de tinción, permitieron el desarrollo de la Citología, lo cual propicio que los biólogos de la época las pudieran comprender con mayor facilidad, que la que pudo haber existido para los contemporáneos de Mendel.

### Leyes de Mendel

Mendel eligió para hacer sus trabajos, siete características que presentan las plantas de chícharo (Fig.5.3.), se aseguró que las plantas con las que realizaría sus investigaciones fueran líneas puras, y los caracteres que decidió estudiar eran claramente contrastantes. Con los resultados obtenidos formulo dos leyes que a continuación se verán.

	<b>Característica Dominante</b>	<b>Característica Recesiva</b>
<b>Forma de la semilla</b>	<b>Lisa</b>	<b>Rugosa</b>
<b>Color de la semilla</b>	<b>Amarillo</b>	<b>Verde</b>
<b>Forma de la vaina</b>	<b>Inflada</b>	<b>Angosta</b>
<b>Color de la vaina</b>	<b>Verde</b>	<b>Amarillo</b>
<b>Altura de la planta</b>	<b>Alta</b>	<b>Enana</b>
<b>Color de la flor</b>	<b>Púrpura</b>	<b>Blanca</b>
<b>Posición de la flor</b>	<b>Axial</b>	<b>Terminal</b>

Fig. 5.3. Se indican las siete características que Mendel eligió para sus estudios, señalando cuales son dominantes y recesivas.

Inició sus experimentos cruzando organismos con un sólo carácter contrastante y obtuvo una primera generación ( $F_1$ ) de descendientes que son todos idénticos a uno de los progenitores

y los llamó **híbridos**, posteriormente por autofecundación se hace reproducir a esta primera generación y se obtienen los descendientes de la segunda generación ( $F_2$ ), los cuales son, unos con la

característica (fenotípica) de los padres híbridos y otros con la del abuelo que había desaparecido en la primera generación, la cual se encontraba latente y se transmite a la segunda generación.

La característica que aparece en todos los miembros de la primera generación se llama **carácter dominante**, y la que aparece hasta la segunda **carácter**

**recesivo** y ocurre en una proporción fenotípica de 3:1 (tres dominantes por un recesivo). Esta es la primera Ley de Mendel o “**Ley de la Segregación**”.

Para llevar a cabo las cruza, a los caracteres dominantes se les asignó una letra del alfabeto en mayúscula y a los recesivos la misma pero en minúscula. (Fig. 5.4.)

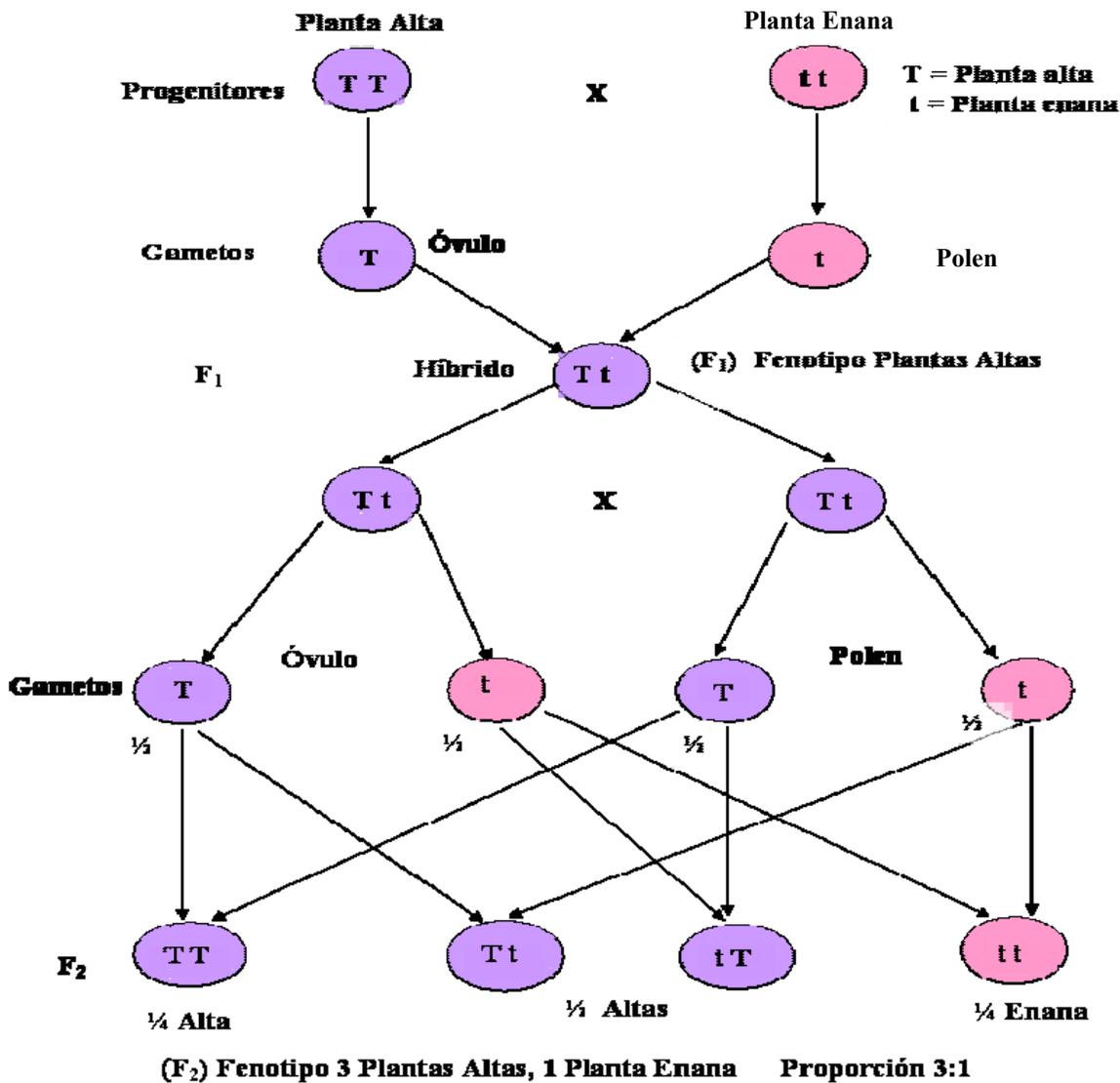


Fig. 5.4. Primera Ley de Mendel, en el ejercicio se puede ver la cruce entre una planta alta ( $T$ ) y una enana ( $t$ ) y la descendencia que se obtiene en la primera y segunda generaciones.

En la Fig. 5.4, se puede observar que cuando se cruza una planta de tallo alto y una de tallo enano toda la descendencia de la primera generación  $F_1$  es alta, debido a que éste carácter es dominante, en la segunda generación ( $F_2$ ) reaparece el carácter enano que es recesivo en proporción de 3:1. Lo que Mendel vio en los organismos es la forma en que se manifiestan externamente las características hereditarias, lo que ahora se llama **fenotipo**.

Para explicar los resultados obtenidos en su investigación, Mendel admite la

existencia de tantos tipos distintos de células sexuales como de descendientes distintos y puros en la segunda generación, un tipo puro T alto, un tipo puro t enano y dedujo de ello que había dos tipos de células sexuales T y t y que se obtienen descendientes uno T, dos Tt y uno t ( $T+2Tt+t$ ). Cuando los caracteres aportados son idénticos se produce un individuo puro T ó t y cuando son distintos se produce un individuo de tipo híbrido Tt. Hay que recordar que en la época en que se realizaron estos experimentos, nada se sabía de cromosomas, genes o ADN. (Fig.5.5.)

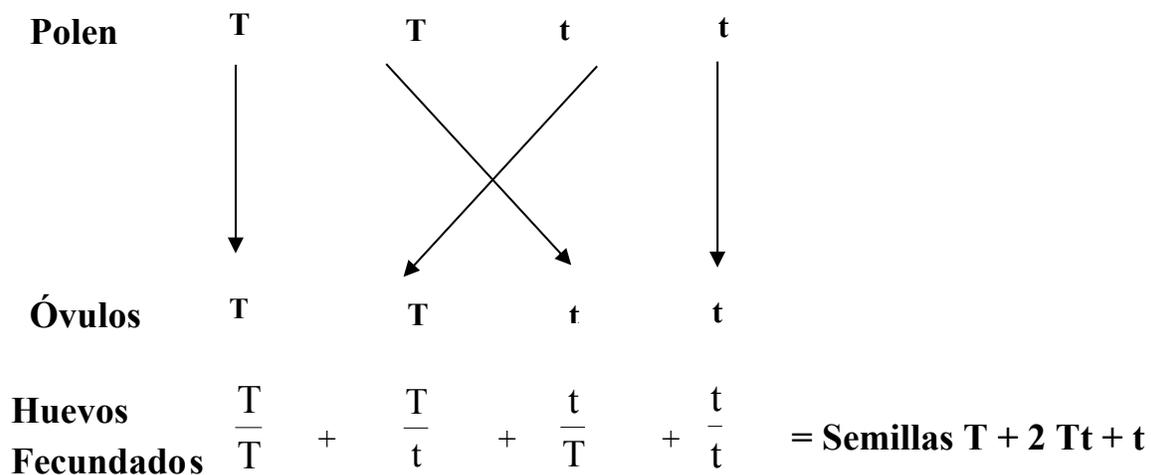
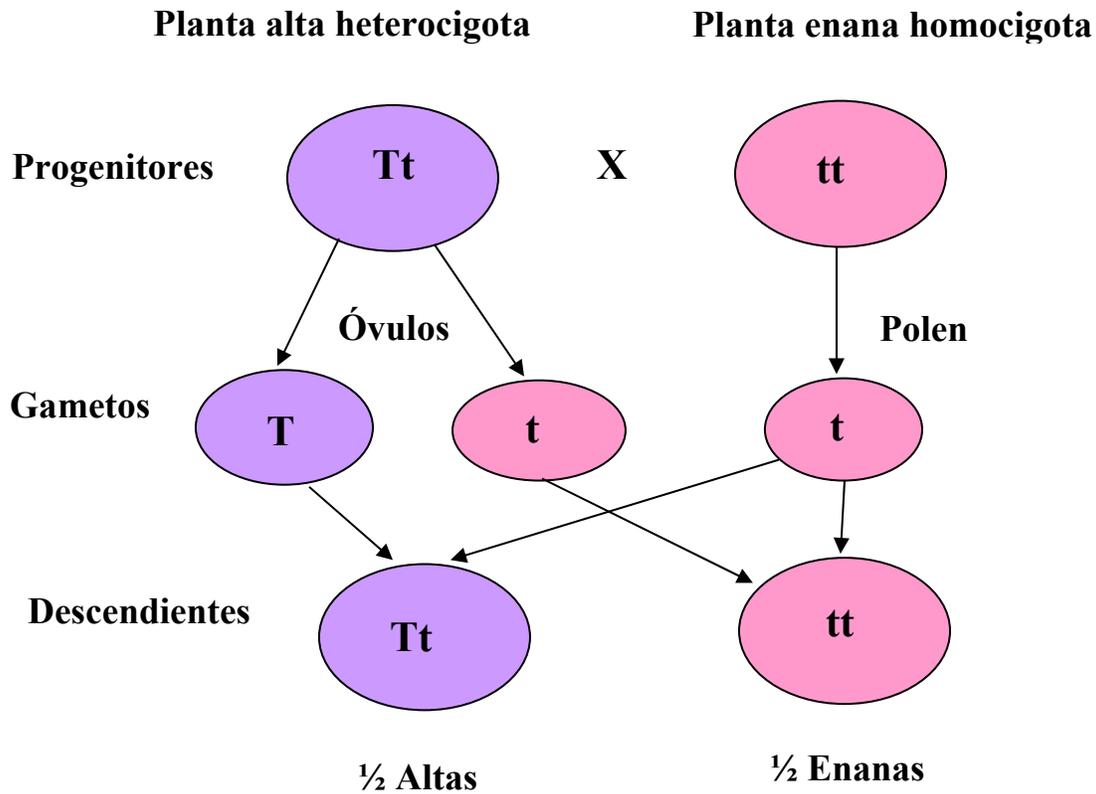


Fig. 5.5. Explicación que Mendel dio a los resultados obtenidos al cruzar a una planta con el carácter alto (T) con una con el carácter enano (t).

En el caso de los genes que manifiestan herencia dominante no existe ninguna diferencia entre los individuos homocigotos (TT), y los heterocigotos (Tt), pues ambos presentan un fenotipo de tallos altos, la **cruza de prueba** sirve para diferenciar a los organismos homocigotos

de los heterocigotos, y ella consiste en cruzar el fenotipo dominante con un homocigoto recesivo (tt), si es homocigoto toda la descendencia será alta (Tt), pero si es heterocigoto, aparecerá el carácter de tallo enano en una proporción de 1:1. (Fig.5.6.)



**Fenotipo 1 Planta Alta**  
**1 Planta Enana    Proporción 1:1**

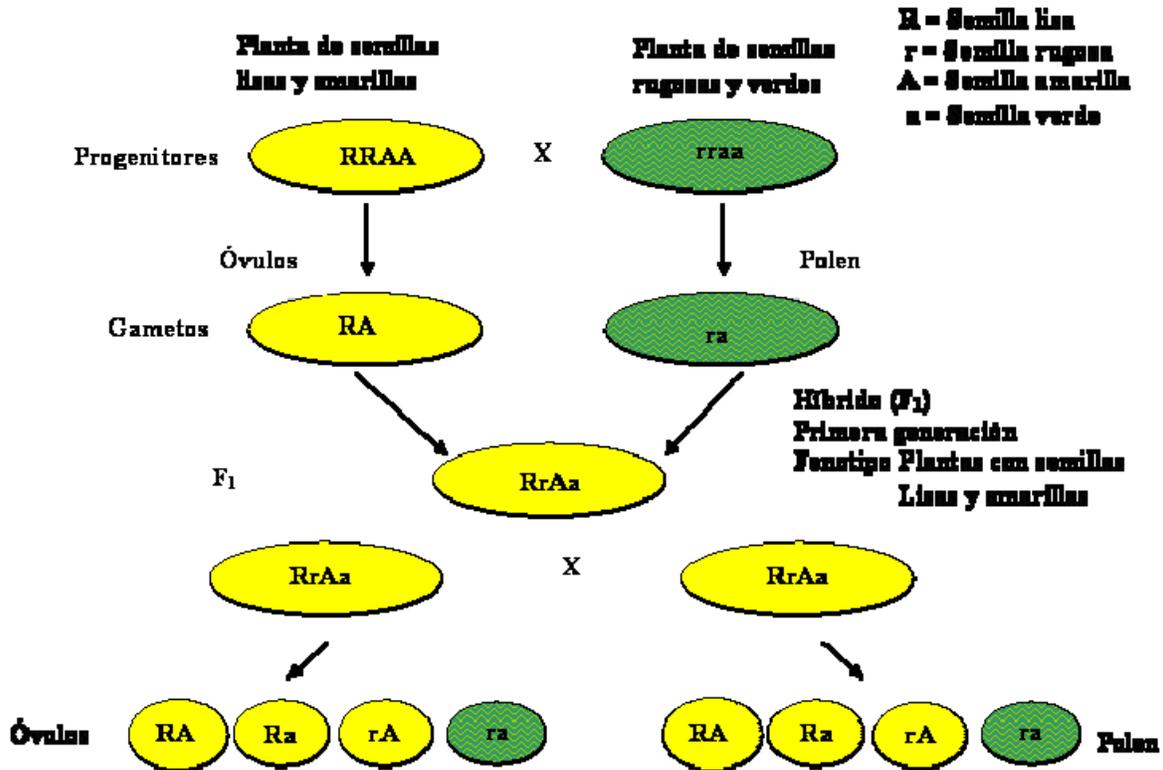
**Fig. 5.6.** Cruzamiento de prueba entre una planta alta (fenotipo dominante), con una planta enana (fenotipo recesivo), así se puede saber si la planta alta es homocigota o heterocigota.

La segunda ley recibe el nombre de “**Ley de la Distribución Independiente**”, la cual indica que cuando se cruzan dos plantas de chícharos que difieren en dos o más caracteres, cada uno de ellos se transmite de acuerdo a la primera ley, con independencia de la presencia del otro carácter, ya que estos no se mezclan (Fig.5.7.). Ahora se conoce que los organismos heredan las características de sus padres por medio de los genes, los cuales pueden tener formas alternativas

llamadas alelos, el individuo recibe un alelo de su padre y el otro de su madre.

**Sabías que:** El genetista inglés Reginald Punnett, (1875-1967), en 1905 diseñó el tablero en el que se realizan las cruces, para facilitar el manejo de un gran número de datos.

Como puede verse en el ejemplo de la Fig. 5.7, en la primera generación ( $F_1$ ), el fenotipo de todas las plantas fue de semillas lisas de color amarillo (híbrido),



**F<sub>2</sub> Segunda generación**

		Óvulos				Fenotipo		
		RA	Ra	rA	Ra			
Polen	RA	RRAA ✓	RRAa ✓	RrAA ✓	RrAa ✓	✓	9 Plantas con semillas lisas y amarillas	
	Ra	RRaA ✓	RRaa +	RraA ✓	Rraa +		+	3 Plantas con semillas lisas y verdes
	rA	rRAA ✓	rRAa ✓	rrAA x	rrAa x		x	3 Plantas con semillas rugosas y amarillas
	ra	rRaA ✓	RRaa +	RraA x	Rraa *		*	1 Plantas con semillas rugosas y verdes

**Proporción 9:3:3:1**

Fig. 5.7. Segunda Ley de Mendel, en el ejercicio se puede ver la cruce entre una planta con semillas lisas y amarillas y una con semillas rugosas y verdes, la descendencia de la primera y segunda generaciones.

mientras que en la segunda generación (F<sub>2</sub>) encontramos que nueve plantas presentan los dos caracteres dominantes, semillas lisas y de color amarillo, tres tienen el carácter dominante liso y el recesivo verde, otras tres muestran el recesivo rugoso y el dominante amarillo y en una aparecen los dos caracteres recesivos, rugoso y verde; correspondiendo esta segregación a la proporción fenotípica de 9:3:3:1.

**Sabías que:** En algunos textos se puede encontrar que las leyes de Mendel son tres, esto es porque a la generación F<sub>1</sub> en la primera cruce ver Fig.5.4, la consideran la primera ley, y a la generación F<sub>2</sub> de esta misma cruce como la segunda ley.

Mendel uso métodos experimentales para llevar a cabo sus estudios, y no sólo realizó observaciones de tipo cualitativo sino que llevo un registro ordenado de todos los datos cuantitativos que obtuvo durante los ocho años que duraron sus investigaciones. Todas las proporciones genéticas que observó, las expreso en términos de probabilidades, calculándolas como fracciones (por ejemplo  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , etc.), o en fracciones decimales (por ejemplo 0.50, 0.75, etc.).

## Herencia no Mendeliana

En la herencia mendeliana, las características de un individuo son determinadas por pares de alelos que pueden ser, dominantes o recesivos, y el fenotipo dependerá de si el alelo dominante esta presente o no, ya que este siempre enmascara al recesivo, pero esta no es la única forma de transmisión de las características hereditarias, ya que existen otras formas de herencia mucho más complejas como la “dominancia

incompleta”, la “codominancia”, los “alelos múltiples”, etc.

### Dominancia Incompleta

Cuando el resultado de la cruce de dos individuos homocigotos para una determinada característica, es un organismo heterocigoto con fenotipo intermedio al de sus padres, se habla de dominancia incompleta, esta se debe a que un miembro del par de alelos para esa característica no es dominante sobre el otro, en este caso no existen genes dominantes ni recesivos, y la proporción fenotípica y genotípica de la cruce de los heterocigotos (F<sub>1</sub>) será de 1:2:1.

Para explicar esta forma de herencia se utilizará el color de los pétalos de la flor de una planta conocida como dondiego de noche *Mirabilis jalapa*, la cual presenta flores de color rojo y blanco. (Fig.5.8 y 5.9.)

Como se puede ver en las figuras mencionadas, al cruzar dos plantas de dondiego de noche, una con flores rojas y otra con blancas, se observa que en la descendencia F<sub>1</sub> todas tienen flores de color rosa, estas son heterocigotas y presentan un fenotipo intermedio al de sus padres, debido a que contienen un alelo R<sub>1</sub> que determina el color rojo y otro alelo R<sub>2</sub> que da ausencia de color, por lo tanto los heterocigotos R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> sólo producen la mitad de color rojo. Al cruzar dos organismos de la F<sub>1</sub> se ve que en la segunda generación F<sub>2</sub> se obtiene una descendencia de plantas con flores de: una roja, dos rosas y una blanca dando una proporción de 1:2:1.

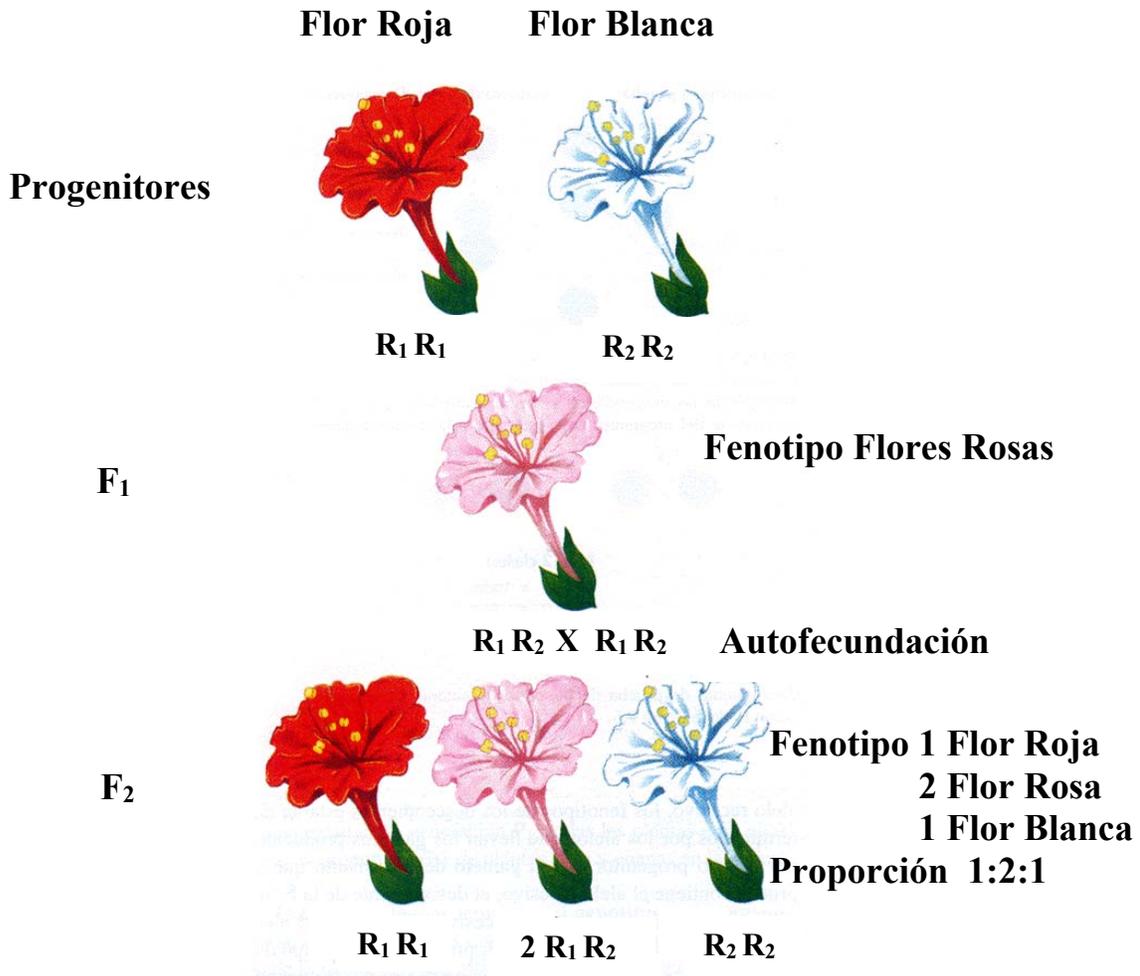
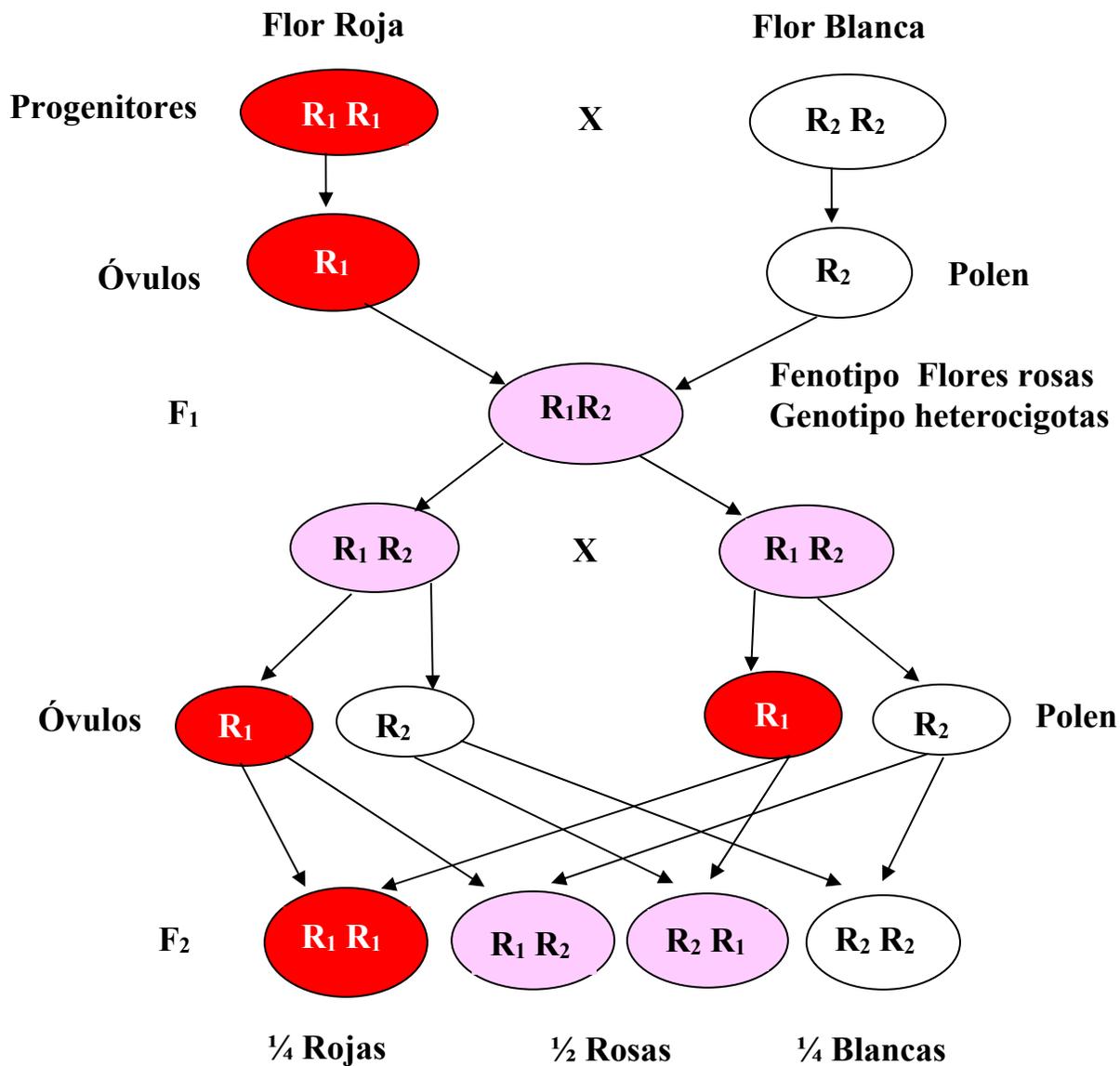


Fig. 5.8. La herencia en el color de la flor del dondiego de noche, es un ejemplo de la dominancia incompleta. Tomado de Tamarin 1996.

La **enfermedad de Tay-Sachs** es un ejemplo de dominancia incompleta en el hombre, es una afección genética, autosómica y recesiva que padecen algunos niños, los síntomas se presentan al año de nacidos y no sobreviven más de cinco años, es incurable y progresiva no existiendo hasta el momento ningún tipo de tratamiento efectivo. Esta condición se presenta debido a la falta de una enzima hidrolítica, cuya función es desdoblar un tipo de lípido (gangliósido GM2), que se

encuentra en las membranas de las células cerebrales, al no ocurrir este proceso, el lípido se acumula en los lisosomas de la célula, afectando la actividad celular y provocando en estos niños ceguera, pérdida progresiva del movimiento, retraso mental y la muerte.

Esta mutación se encuentra en un gen del cromosoma 15, los niños que sufren esta enfermedad son homocigotos para esta característica, no producen la enzima



**Fenotipo** 1 Planta con flores rojas  
 2 Plantas con flores rosas  
 1 Planta con flores blancas

**Genotipo** 1 homocigota roja  
 2 heterocigotas rosas  
 1 homocigota blanca

**Proporción** 1:2:1

$R_1$  = flores rojas  
 $R_2$  = flores blancas

Fig. 5.9. Dominancia incompleta, en el ejercicio se observa la cruz de una planta con flores rojas con una de flores blancas y la descendencia de la primera y segunda generaciones.

Hexosaminidasa-A causante de este problema, los individuos heterocigotos parecen ser normales, pero si se les hacen exámenes de sangre para detectar la actividad de esta enzima, se puede ver que se encuentra reducida aproximadamente a la mitad (debido a que sólo tienen un alelo que produce la enzima), comparada con la actividad que presentan los homocigotos normales (sus dos alelos producen la enzima).

Las técnicas modernas de detección del alelo anormal causante de la enfermedad

de Tay- Sachs, permiten que las personas que son heterocigotas para esta característica, puedan tomar la decisión de tener hijos, ya que la probabilidad de tener un descendiente enfermo es del 25%, cuando ambos padres son heterocigotos. La Genealogía (construcción de árboles genealógicos), proporciona información muy valiosa acerca del estudio de los ascendientes y los descendientes de un individuo, ya que por este método es posible detectar las enfermedades hereditarias y predecir su aparición en los hijos. (Fig.5.10.)

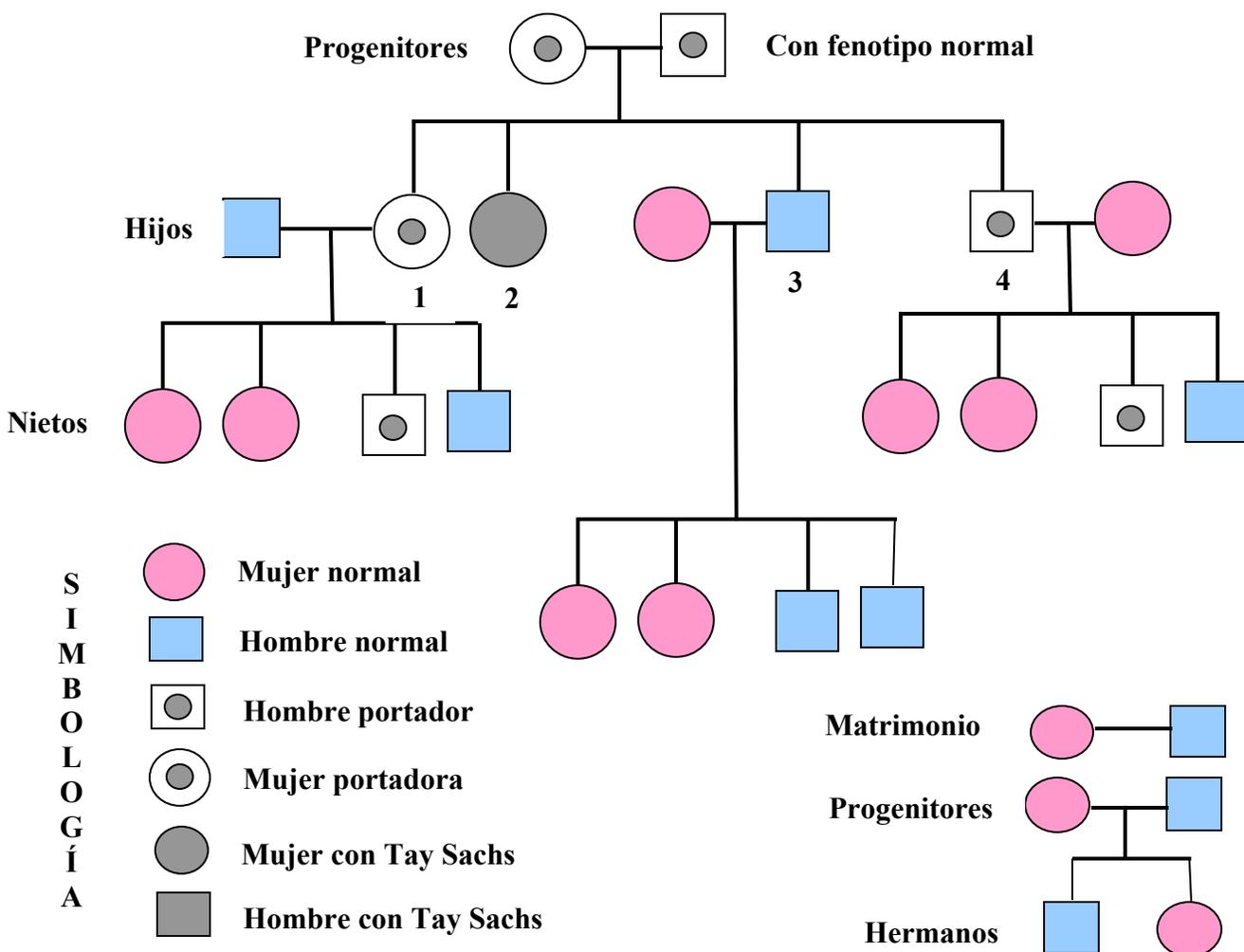


Fig. .5.10. Genealogía del síndrome de Tay Sachs. Cuando los progenitores son heterocigotos, la probabilidad de que hereden a sus hijos la enfermedad es de: el 25% que la padezcan, el 50% serán portadores, sólo tendrán un gene que produzca la enzima y el 25% serán sanos.

## Codominancia

La codominancia como su nombre lo indica, se refiere a los casos en que los heterocigotos presentan un fenotipo, en el que se encuentran simultáneamente los fenotipos de los dos progenitores, o sea que los dos alelos presentes en el organismo para una cierta característica se manifiestan al mismo tiempo, este tipo de herencia se puede observar en el pelaje de toros y vacas, lo mismo que en las plumas de las aves de corral, o en las personas que tienen el grupo sanguíneo heterocigoto AB, en los cuales los dos alelos se expresan de forma simultánea.

Un ejemplo de codominancia se ve en el plumaje de las aves de corral que presentan plumas negras y blancas, cuando se cruzan dos organismos homocigotos la descendencia heterocigota tiene una mezcla de plumas blancas y negras que le da un aspecto de plumaje a cuadros producto de la mezcla de las plumas. (Fig. 5.11 y 5.12)



**Fig. .5.11.** Se muestra el plumaje de un gallo con un patrón a cuadros blancos y negros, como ejemplo de codominancia. Tomado de Biggs. 2000.

Durante mucho tiempo se pensó que la dominancia incompleta y la

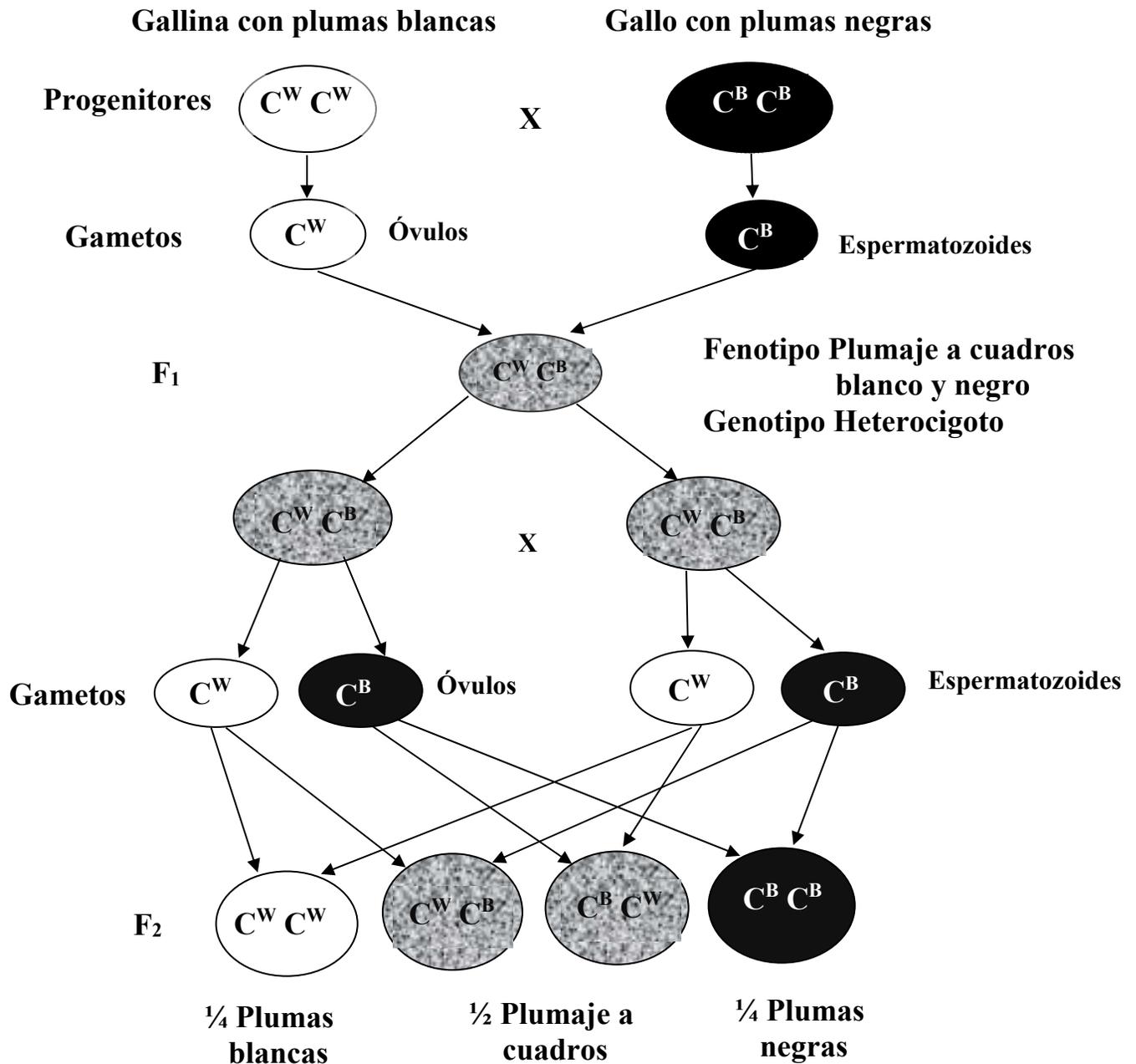
codominancia eran la misma forma de herencia, pero gracias a las técnicas de electroforesis se han podido investigar las proteínas que producen los distintos alelos, por lo que ahora se puede decir que la dominancia incompleta se refiere a casos en los que el individuo heterocigoto, presenta un fenotipo intermedio en relación con el de sus padres; mientras que la codominancia se refiere a los casos en que el heterocigoto expresa de manera simultánea los fenotipos de ambos progenitores.

## Alelos Múltiples

Como ya se ha mencionado un individuo sólo tiene dos alelos para cada gen, pero cuando se estudia a los organismos a nivel de poblaciones se ha visto que en la mayoría de los casos existen más de dos alelos para cada gen, o sea que pueden haber más de dos fenotipos para una determinada característica dentro de una población controlada por alelos múltiples.

Se sabe que las características regidas por estos alelos no son una excepción, sino más bien se trata de una generalidad entre los seres vivos, ya que se encuentran numerosos ejemplos de ello en vegetales, animales y el hombre. Para ejemplificar este tipo de herencia se usarán a los grupos sanguíneos ABO en la especie humana.

El **sistema de grupos sanguíneos ABO** fue descubierto en 1901 por el médico estadounidense **Karl Landsteiner** (1868-1943), que al hacer combinaciones entre sangre obtenida de diferentes personas se da cuenta que en algunos casos los glóbulos rojos no se aglomeraban y en otros sí, concluyendo que no todas las personas tiene el mismo tipo de sangre.



**Fenotipo 1 con plumas blancas, 2 con plumas a cuadros, 1 con plumas negras**  
**Genotipo 1 homocigoto blanco, 2 heterocigotos a cuadros, 1 homocigoto negro**  
**Proporción 1:2:1**

Fig. 5.12. Codominancia, en el ejercicio se observa la cruz de una gallina con plumas blancas con un gallo con plumas negras y la descendencia de la primera y segunda generaciones.

Ahora se sabe que en el sistema ABO existen cuatro diferentes grupos sanguíneos, al **A**, el **B**, el **AB** y el **O**, o sea que existen cuatro fenotipos producidos por la combinación de tres alelos, de los cuales el A y B son codominantes entre sí y dominantes con respecto al alelo O.

**Sabías que:** El locus en donde se encuentran los alelos para el sistema de grupos sanguíneos ABO, esta situado en el cromosoma número nueve.

En la superficie de los eritrocitos (glóbulos rojos) de la sangre, se producen unas sustancias llamadas antígenos, que en el caso de las personas que tienen grupo sanguíneo A producen antígeno A, las que tienen tipo sanguíneo B producen antígeno B, las AB producen antígeno A y B y las de tipo O no producen antígeno; al mismo tiempo las tipo A presentan anticuerpos anti-B en el suero de la sangre, las B presentan anticuerpos anti-A, las AB no producen anticuerpos y las O presentan anticuerpos anti A y B.

La sangre es tipificada de acuerdo con la presencia o ausencia de antígenos y anticuerpos. Los antígenos son glucoproteínas capaces de desencadenar la respuesta inmune de un organismo, mientras que los anticuerpos son proteínas que protegen al organismo frente a los antígenos. En el caso de una transfusión sanguínea las personas de tipo A no pueden dar sangre a una de tipo B y esta no puede donar a una de tipo A. Sin embargo, ambas pueden donar a una de tipo AB, cuando se presenta algún problema, esto se debe a la reacción del anticuerpo presente en el suero del receptor con el antígeno de los glóbulos rojos del donante provocando la aglutinación de las células. (Fig. 5.13.)

En el sistema de grupos sanguíneos ABO, los anticuerpos pueden estar presentes en el suero de la sangre de una persona sin que esta allá estado previamente expuesta al antígeno.

Grupo sanguíneo (Fenotipo)	Genotipo	Antígeno en glóbulos rojos	Anticuerpos en suero	Puede donar sangre a:	Puede recibir sangre de:
A	AA ó AO	A	anti - B	A, AB	A, O
B	BB ó BO	B	anti - A	B, AB	B, O
AB	AB	AB	- -	AB	A, B, AB, O
O	OO	- -	anti - A y B	O, A, B, AB	O

Fig. .5.13. Grupos sanguíneos ABO, se muestra el fenotipo, el genotipo, los antígenos y anticuerpos que producen y de quien pueden recibir y a quien pueden donar sangre.

### El Sistema Rh

Lo alelos que controlan la expresión de el factor Rh, se comportan de acuerdo con los principios de la dominancia y la recesividad, pero se explican en este momento, debido a la importancia que

tienen junto con los grupos sanguíneos para la salud de las personas.

En el sistema **Rh**, se encuentran otros antígenos que también se producen en la membrana de los glóbulos rojos, a cada uno de estos se les denomina **factor Rh**, se descubrieron en la sangre de los monos

**Rhesus**, y a ellos deben su nombre. El más importante de estos es el antígeno **D** el alelo que codifica esta característica es dominante cuando produce el antígeno y recesivo cuando no lo produce. Las personas que tienen presente el antígeno en la membrana de sus glóbulos rojos se dice que son  $Rh^+$ , y pueden ser homocigotas dominantes (DD) o heterocigotas (Dd) y las que no lo tienen son  $Rh^-$  homocigotas recesivas (dd).

A diferencia de lo que ocurre en el sistema ABO, en el Rh las personas que son  $Rh^-$  no producen naturalmente anticuerpos Anti-D, a menos que se les exponga a la sangre  $Rh^+$  y esto estimule a sus leucocitos a producir los anticuerpos. Es importante conocer no sólo el grupo sanguíneo de las personas, sino también su factor Rh, ya que ambos juegan un papel crucial cuando se requiere de una transfusión sanguínea.

Un ejemplo de incompatibilidad del factor Rh, se da cuando en una pareja en donde ella es  $Rh^-$  y él  $Rh^+$ , tienen la posibilidad de que su bebe herede el alelo D del padre y ser  $Rh^+$ , esta condición lo haría producir el antígeno D en la superficie de los glóbulos rojos de su sangre; a pesar de que la sangre del feto es independiente de la de la madre, durante el parto por algún defecto de la placenta se pueden mezclar pequeñas cantidades de sangre fetal con la de la madre, provocando que los leucocitos de la progenitora produzcan anticuerpos Anti-D que ataquen a los antígenos producidos por los glóbulos rojos de la sangre fetal.

Esto es muy importante porque si ocurre un nuevo embarazo, los anticuerpos de la madre estarían listos para cruzar la placenta y atacar a los glóbulos rojos del

feto, provocando la rotura de la membrana de una gran cantidad de eritrocitos, y los productos de la degradación de la hemoglobina pueden dañar a los órganos del feto incluyendo el cerebro. En los casos en que este ataque es muy severo el feto puede morir. A esta enfermedad se la conoce con el nombre de **eritoblastosis fetal**.

En la actualidad existen medicamentos elaborados con anticuerpos Anti-D, que se aplican a la madre en la semana 28 y antes del parto o al término del embarazo cuando hay un aborto, para eliminar de la sangre materna los eritrocitos fetales, evitando que sus leucocitos se sensibilicen y produzcan anticuerpos Anti-D, previendo con ello evitar problemas en futuros embarazos.

## Teoría Cromosómica de la Herencia

Los avances en los estudios de la Biología continuaron y para finales del siglo XIX, ya se conocía la **nucleína**, sustancia aislada del núcleo de las células, de carácter ácido y rica en fósforo que fue descubierta por el bioquímico suizo **Friedrich Miercher** (1844-1895), en 1868 y posteriormente **Richard Altmann** le dio el nombre de **ácido nucleico**.

En 1882 **Walther Flemming** descubre el proceso de la **mitosis**, que es la división que sufren las células para reproducirse, al observar los cromosomas se da cuenta que cada especie tiene un número fijo e invariable. El citólogo alemán **Theodor Boveri** describió en 1887 los eventos de la **meiosis**, división celular que reduce el número cromosómico a la mitad en las células sexuales; en ese mismo año, el embriólogo alemán **Oskar Hertwig**, describe el proceso de la **fecundación**.

En 1901 el citólogo estadounidense **Walter Sutton** (1877-1916), relacionó el comportamiento de los cromosomas durante la meiosis con las leyes de Mendel, demostró que todos los cromosomas estaban dispuestos en pares y que cada célula sexual tiene un cromosoma de cada par o sea el número cromosómico dividido a la mitad, señaló a los cromosomas como los portadores físicos de los factores genéticos.

Sutton correlacionó la presencia de pares de cromosomas homólogos con los factores hereditarios descubiertos por Mendel, y observó que en la división reductora los gametos sólo tienen una versión de cada gen (alelos), y los dos gametos que se unen durante la fecundación producen un individuo con dos alelos para cada rasgo, con esto demostró la relación que había entre el comportamiento de los cromosomas y los resultados obtenidos por Mendel; es así que en 1903 se postula la **teoría cromosómica de la herencia**, al establecer las semejanzas entre el comportamiento de los cromosomas homólogos y los alelos mendelianos durante la meiosis.

Al mismo tiempo que avanzaban las investigaciones en Genética surgían preguntas como: ¿Cómo fue que las siete características que Mendel estudio se transmitían de manera independiente?, ¿Se encontraban todas en diferentes cromosomas?, ¿Los chícharos que Mendel estudio tienen siete pares diferentes de cromosomas homólogos?

Para responder a las preguntas planteadas, los estudios han demostrado que las siete características que Mendel investigó en el chícharo muestran segregación independiente, a pesar de que no todas

están en diferentes cromosomas, como es el caso de la altura de la planta y la textura de la vaina, que se encuentran en el cuarto par de cromosomas, pero lo suficientemente separadas entre sí para segregarse en forma independiente. Las plantas de chícharo poseen siete pares de cromosomas homólogos.

Los genes que están en el mismo cromosoma y que, por tanto, tienden a heredarse juntos se denominan **genes ligados**; Sutton ya había hablado de grupos de genes enlazados que daban rasgos ligados, pero fue hasta 1915 que el genetista estadounidense **Thomas Hunt Morgan** (1866-1945), estudiando como se transmitían las **mutaciones** en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, observó que estas no se heredaban en forma independiente, sino que se encontraban en cuatro diferentes grupos ligados, tomando en cuenta que este insecto tiene cuatro pares de cromosomas homólogos, no quedó ninguna duda de que los genes se encuentran en los cromosomas formando grupos relacionados.

En los estudios que Morgan realizó con la mosca *Drosophila* descubre la **herencia ligada al sexo** y la **determinación del sexo**; al observar los cultivos del insecto se da cuenta que a diferencia de la generalidad de las moscas que tenían los ojos rojos, algunas en menor número los presentaban de color blanco, al examinarlas vio que las que poseían los ojos blancos eran machos, es aquí donde surge la idea de la herencia ligada al sexo, la cual por medio de experimentos comprobó, lo mismo que la determinación del sexo.

Una vez puestas las bases de la Genética y siendo generalmente aceptadas, se da el

momento propicio para la ampliación y generalización de estas ideas. Ahora se sabe que la segregación de los alelos es el resultado de la separación de los cromosomas homólogos durante la meiosis.

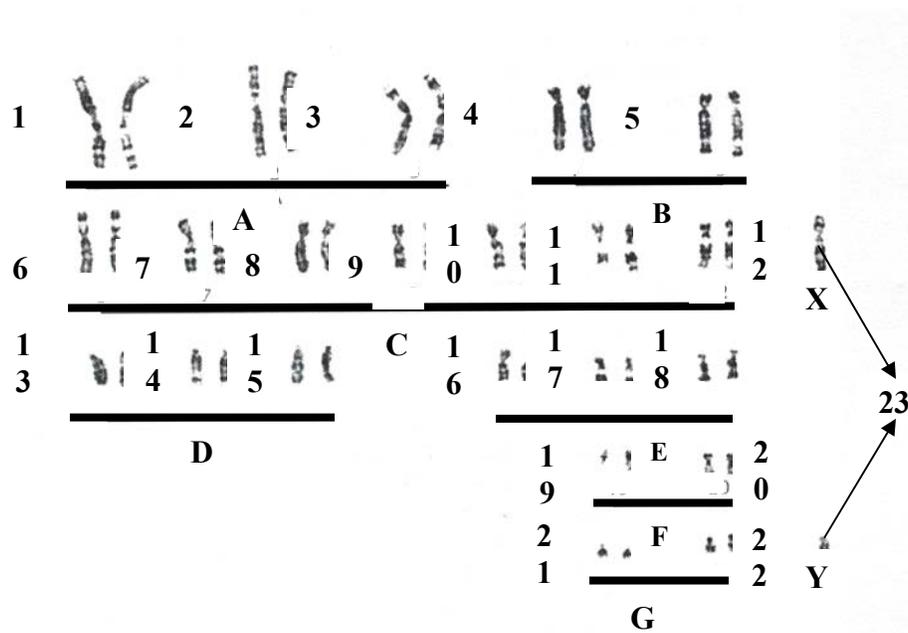
### Determinación del Sexo

Existen diversas formas para la determinación del sexo en los organismos, que pueden ser cromosómicas o ambientales y en cada una de ellas se pueden encontrar diferentes mecanismos, aquí se tratará la cromosómica y en especial el **sistema XY**, poniendo como ejemplo la determinación del sexo en la especie humana.

El ser humano posee 46 cromosomas, ordenados en 23 pares, de los cuales a los

primeros 22 se les denomina autosomas y al par 23 sexual, en el caso de las mujeres este último par está formado por dos cromosomas **X** y se dice que es **homomórfico**, en el hombre se forma por un cromosoma **X** y uno **Y** y es **heteromórfico**.

El sexo femenino produce un tipo de gametos los óvulos que contienen el cromosoma X y el sexo masculino produce dos tipos diferentes de espermatozoides, unos llevan el cromosoma X y otros el Y, por lo tanto si el espermatozoide que fecunda al óvulo tiene el cromosoma X, el producto será una niña, pero si el que fecunde tiene el cromosoma Y el producto será un niño. (Fig.5.14.)



**Fig. 5.14. Cariotipo humano correspondiente a un varón normal. Si en el par 23, en el lugar de la Y hubiera una X el cariotipo sería de una mujer. Tomado de Tamarin 1996.**

Como se observa el gameto responsable de la determinación del sexo de un bebé es el que aporta el padre, si se supone que el 50% de los espermatozoides tienen el cromosoma X y el otro 50% el Y, deberían de nacer niños y niñas en igual número, pero esto no es así, ya que se ha visto que nacen 106 niños por cada 100 niñas, y aún antes de nacer el número de varones que se engendran es mayor, no se sabe porque ocurre esto, pero al parecer el espermatozoide con cromosoma Y tiene alguna ventaja competitiva.

No son los cromosomas en sí los que están determinando el sexo, sino los genes que contienen; el genotipo determina el tipo de gónadas que se forman y a su vez estas controlan el fenotipo del organismo mediante la producción de hormonas masculinas o femeninas. En la especie humana el cromosoma Y es el determinante de la masculinidad, estudios recientes han confirmado que el gen que determina el desarrollo de los testículos se encuentra en el brazo corto del cromosoma Y.

### **Herencia Ligada al Sexo**

Cuando se habla de herencia ligada al sexo en el sistema XY, se puede observar que en el cromosoma X existen muchos genes necesarios para ambos sexos, en cambio el cromosoma Y sólo tiene unos pocos, incluidos los de la masculinidad. En el cromosoma X se encuentran los genes responsables de algunas características como: la ceguera al color (daltonismo) y la hemofilia (falta de una adecuada coagulación de la sangre), a estos se les llama genes ligados al cromosoma X.

Las mujeres tienen un cromosoma X heredado por su madre y un X heredado

por su padre, por lo que pueden ser homocigotas o heterocigotas para sus diferentes características, en cambio el hombre hereda un X de su madre y un Y de su padre, por lo tanto en el hombre se expresan todos los genes del cromosoma X heredado por su madre y se dice que es hemocigoto (que posee sólo un alelo para cada característica) para todos los genes ligados al cromosoma X.

Los hombres transmiten a las hijas los genes del cromosoma X y a los hijos los del cromosoma Y, a su vez las hijas transmiten a sus hijos varones un cromosoma X; como en el varón se expresan todos los genes por ser hemocigoto, se puede observar que cuando hay alguna característica indeseable la mayoría de los individuos afectados son hombres y estos proceden de madres afectadas o portadoras, las mujeres afectadas, provienen de padres afectados y madres afectas o portadoras, aproximadamente la mitad de los hijos varones de madres portadoras deben de estar afectados.

Para ejemplificar la herencia ligada al sexo en el sistema XY se hablará de la enfermedad llamada hemofilia, la cual se conoce desde los antiguos hebreos y en un texto árabe del siglo XI ya se describe, pero el caso más estudiado es el de la herencia de la hemofilia en las familias reales de Europa, se cree que este gen fue introducido por la Reina Victoria de Inglaterra que nace en 1819, se piensa que una mutación en alguna de las células germinales de sus progenitores provocó la aparición del gene, ya que no había antecedentes en la familia.

La enfermedad aparece por primera vez en uno de los hijos de la Reina, el príncipe Leopoldo (1853), y

posteriormente en los hijos de sus hijas Alicia y Beatriz quienes eran portadoras (de fenotipo normal pero heterocigotas para el gene mutante), aquí se inicia la diseminación del gene debido a que los matrimonios reales se llevaron a cabo sólo con miembros de la realeza, (Fig.5.15.)

La hemofilia es una enfermedad recesiva, que consiste en la deficiencia en alguno de los pasos de la ruta de formación del fibrinógeno que es la proteína coagulante de la sangre, esta tarda en coagular normalmente de 2 a 8 minutos después de que ha salido de los vasos sanguíneos, en las personas que padecen hemofilia puede tardar 30 minutos o inclusive horas.

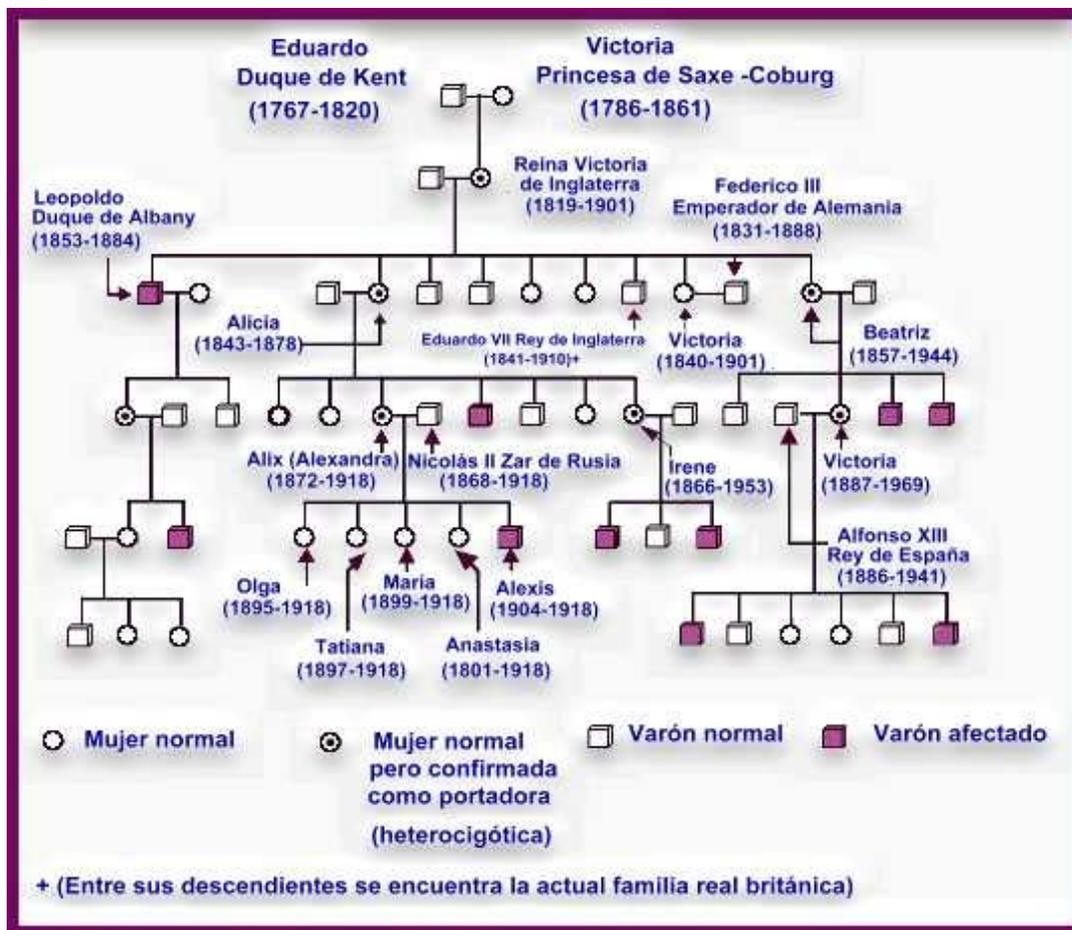


Fig. 5.15. Árbol genealógico de la reina Victoria de Inglaterra, indicando como la hemofilia es heredada de generación en generación como un rasgo recesivo. Tomado de [http://ejb.ucv.cl/genweb/genetica/Asparchivos/capt9\\_3fig.htm#fig3b](http://ejb.ucv.cl/genweb/genetica/Asparchivos/capt9_3fig.htm#fig3b)

Existen varias formas de hemofilia de las cuales la A y B se encuentran ligadas al cromosoma X, el resto son autosómicas. Se calcula que un hombre de cada 10,000

presenta este carácter y una mujer en cada 100,000,000. Según el World Federation of Hemophilia, en el mundo hay 350,000 personas afectadas por esta enfermedad.

## Concepto de Gen y Genoma

Los **genes** son las unidades del material hereditario que contienen las instrucciones codificadas químicamente para la producción de las proteínas que necesita la célula. Se encuentran ordenados linealmente en los cromosomas, y tienen una posición fija, el sitio en donde los podemos encontrar se llama locus.

La palabra gene fue utilizada por primera vez por el botánico danés **Wilhelm Johannsen** (1857-1927), en 1909. La definición de gen no ha cambiado básicamente, pero con los avances que ha tenido la Genética, esta se ha diversificado y ahora se habla de genes constitutivos (son los que se transcriben de manera constante), genes ligados al cromosoma X, genes letales, genes supresores, etc.

Los genes están constituidos por largas cadenas de ADN, que a su vez se encuentran formadas por secuencias de nucleótidos que codifican características específicas, un cambio en alguna de las bases nitrogenadas que forman los nucleótidos causaría lo que se conoce como **mutación**. Se estima que el ser humano tiene alrededor de 30,000 genes, y que cada cromosoma puede contener cientos o miles de estos, por ejemplo, en el hombre el cromosoma 1 (es el más grande) tiene 2968 genes, mientras el cromosoma Y sólo cuenta con 231.

Se denomina **genoma** a todo el material genético en particular, contenido en las células de un organismo, codificado en una o varias moléculas de ADN y organizado en cromosomas. La expresión de esta información genética dará las

características morfológicas y funcionales que caracterizan a los miembros de una especie.

El genoma de una especie está organizado de la manera siguiente:

- Las secuencias de ADN que codifican para el número total de genes que caracteriza a la especie.
- Las secuencias de ADN repetidas que no codifican información genética.
- Otras secuencias de ADN, cuya función es desconocida, pero se piensa que pueden tener acciones reguladoras o estructurales.

La proporción entre las secuencias codificantes y las no codificantes varía en función del nivel evolutivo, siendo, en general, más alta la proporción codificante en los grupos inferiores y menor en los organismos superiores.

En cuanto al tamaño del genoma, este aumenta en proporción a la complejidad de los organismos y a su posición en la escala evolutiva, esta misma correlación se da para el número de genes. (Fig.5.16.)

## Mutaciones

Una mutación es una alteración o cambio en la información genética (ADN) de un ser vivo, esto provoca que el genotipo del individuo afectado se modifique y cuando éste se expresa en el fenotipo, se producirán alteraciones en las características típicas del organismo. Las mutaciones fueron descritas por primera vez en el libro “*Mutations Theorie*”, escrito en 1901 por el botánico Hugo de Vries.

Las mutaciones pueden ocurrir de manera espontánea, como consecuencia de errores en la duplicación del ADN o defectos en la separación mitótica o meiótica de los cromosomas; pero también pueden ser causadas en forma accidental o inducida por agentes mutagénicos como radiaciones ionizantes (rayos X, gama, cósmicos, ultravioleta), agentes químicos (ácido nitroso, gas mostaza, ácido fórmico, colchicina, LSD, nicotina, etc.) y algunos virus.

A pesar de que la frecuencia de daño al ADN es alta, la tasa de mutaciones observadas es baja, esto debido a que existen enzimas reparadoras que las corrigen; pero cuando algunos nucleótidos defectuosos pasan a las células que producen gametos y estos a su vez a un individuo y al acervo genético de una población se dice que se ha producido una mutación la cual se transmitirá a generaciones posteriores.

- EVOLUCIONADOS +	Especie	Número de Genes	Número de pares de Bases ( millones)	Fecha de Secuenciación
	<i>Escherichia coli</i> (bacteria)	4,282	2.4	1998
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (levadura)	6,000	13	1997
	<i>Caenorhabditis elegans</i> (Nematodo)	18,400	97	1998
	<i>Drosophila melanogaster</i> (mosca de la fruta)	14,200	140	2000
	<i>Oryza sativa</i> (arroz)	40,000	480	2000
	<i>Homo sapiens</i> (hombre)	30,000	3,300	2000

Fig. 5.16. Tamaño del genoma, puede verse como el número de genes de cada organismo aumenta en proporción a la complejidad y a la posición en la escala evolutiva, lo mismo ocurre con el número de pares de bases.

La mayoría de las mutaciones son imperceptibles; otras son perjudiciales pudiendo dañar a los gametos o células de un embrión, provocando la aparición de individuos u órganos anormales; si afectan a células en división puede surgir un cáncer, o producir numerosas enfermedades hereditarias congénitas, o crónicas en el adulto, unas cuantas son benéficas, siendo estas el origen de

nuevos alelos y la fuente de la diversidad entre los seres vivos.

Los cambios que pueden ocurrir en las frecuencias génicas de una población son fortuitos, ya que no tienen un objetivo definido, ni tienden a resolver algún problema en específico, las mutaciones son eventos aleatorios con respecto a la adaptación, es decir el que ocurra o no

una mutación particular es independiente de las consecuencias que pueda tener en los portadores, el que un nuevo alelo se fije o desaparezca depende de fuerzas que actúan sobre las poblaciones, como pueden ser las migraciones o la selección natural.

Las mutaciones pueden ser **génicas** o **cromosómicas**. En el primer caso son las que ocurren al alterar la secuencia de nucleótidos del ADN; las segundas son las que afectan al número total de cromosomas o a fragmentos de estos.

Se conocen varios tipos de **mutaciones génicas** producidas por diversos cambios en la secuencia de bases del ADN (Fig.5.17.), como son:

- **Mutación por sustitución de bases:** se produce al cambiar un nucleótido por otro.
- **Mutación por delección o pérdida de bases:** ocurre cuando se pierde un nucleótido.
- **Mutación por adición de bases:** sucede al adicionar un nucleótido de más.

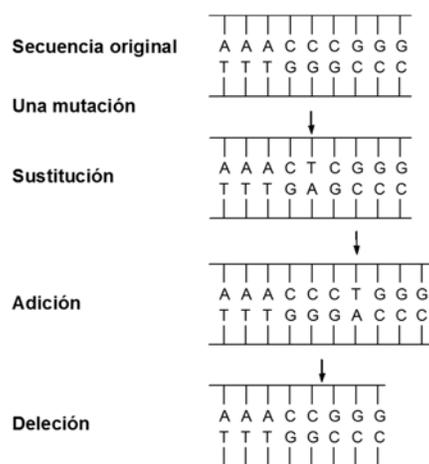


Fig. 5.17. Mutaciones de ADN. Por sustitución (en la modalidad de transición), por adición y por delección. Tamarin, 1996.

El tipo de mutación más común es la sustitución (mutación puntual) de un par de bases por otro y se da en dos modalidades: por transición y por transversión. La transición consiste en la sustitución de una purina por otra purina o de una pirimidina por otra pirimidina, en la transversión se sustituye una purina por una pirimidina o una pirimidina por una purina.

Las mutaciones génicas, ocurren cuando se pierde o se adiciona una o más pares de bases en la cadena de ADN, también se conocen como **corrimiento del marco de lectura**, y tienen como consecuencia que al perder o ganar una o más pares de bases, el ADN se altere, y cause que la secuencia de bases posterior a la mutación se desplace a un nuevo marco de lectura, lo cual puede impedir que se forme la proteína o dar por resultado una secuencia completamente nueva de aminoácidos.

Las **mutaciones cromosómicas** (Fig.5.18.), que sólo afectan un fragmento del cromosoma reciben el nombre de **estructurales** y son:

- **Mutación por inversión:** es el cambio de sentido en un fragmento del cromosoma.
- **Mutación por delección o pérdida:** ocurre cuando se pierde un fragmento del cromosoma.
- **Mutación por duplicación:** se une un fragmento de cromosoma de más (suelen estar asociadas con delecciones en otros cromosomas).
- **Mutación por translocación:** sucede un cambio en la posición de un fragmento cromosómico.

Las mutaciones cromosómicas (Fig.5.19.), que afectan al número total de cromosomas son:

- **Poliploidía:** consiste en el aumento del número normal de juegos de cromosomas.
- **Haploidía:** en esta mutación ocurre una disminución en el número de juegos de cromosomas.

- **Aneuploidía:** son las mutaciones que afectan a sólo un cromosoma o más, sin llegar a afectar al juego completo.

Las mutaciones cromosómicas por aneuploidía consisten en la disminución o aumento de cromosomas en uno o varios pares del juego completo, por ejemplo, en las monosomías sólo hay un cromosoma en el par afectado, en las trisomías hay tres, las tetrasomías tienen cuatro etc. (Fig.5.20.)

## Mutaciones Cromosómicas

Síndrome	Nombre común	Cromosoma afectado	Características
<b>Cri-du-chat</b>	Maullido de gato	Delección del brazo corto del cromosoma 5	Los niños afectados lloran con chillidos que recuerdan el maullido de un gato, presentan microcefalia, cardiopatías congénitas, retraso mental y de crecimiento, se presenta en 1 de cada 20,000 nacimientos.
<b>Prader-Willi</b>	SPW	Delección del brazo largo del cromosoma 15	Las personas que padecen este síndrome, presentan hipotonía muscular, apetito insaciable (si no se cuida la dieta presentan obesidad), hipogonadismo y desarrollo sexual incompleto, retraso mental y funcional en diferentes grados, baja estatura, manos y pies pequeños y problemas de comportamiento. 1 afectado en cada 15,000 nacimientos.
<b>Delección del cromosoma 18</b>		Delección del brazo largo del cromosoma 18	Los niños que nacen con este síndrome, presentan retraso mental, problemas motrices, deformación cráneo facial y anomalías en las extremidades.
<b>Translocación 22-9</b>	Cromosoma Filadelfia	Translocación del brazo del cromosoma 22 al brazo corto del cromosoma 9	Consiste en una translocación que se da en algunas células somáticas, de personas afectadas por leucemia mieloide crónica, esta enfermedad se presenta a cualquier edad. La frecuencia de aparición es de 1 persona en cada 100,000 al año.

**Fig. 5.18. Mutaciones cromosómicas autosómicas estructurales.**

## Mutaciones Cromosómicas

Síndrome	Nombre común	Cromosoma afectado	Número cromosómico	Características
<b>Down</b>	Trisomía 21	21	45-XX ó 45-XY	Este síndrome se caracteriza por retraso mental, cara ancha, pelo lacio, nuca plana, manos cortas, baja estatura, anomalías internas, principalmente cardíacas, la incidencia de aparición esta relacionada con la edad de la madre, en mujeres de 20 años la probabilidad de tener un niño Down es de 1 en 1500 nacimientos, si la madre tiene 35 años la probabilidad es de 1 en 350 y si tiene 43 años es de 1 en 50.
<b>Edwards</b>	Trisomía 18	18	45-XX ó 45-XY	La mayoría de los bebes que padecen este síndrome, no sobreviven al nacimiento y aquellos que lo logran viven menos de un año, entre los síntomas están la discapacidad mental, enfermedades cardíacas, hernias, orejas de implantación baja, mandíbula pequeña. La probabilidad de que un niño nazca con este síndrome es de 1 de cada 3000 niños.
<b>Patau</b>	Trisomía 13	13	45-XX ó 45-XY	Las características de los niños que presentan está enfermedad son, cabeza de tamaño muy pequeño, anomalías en los ojos, un gran número presenta labio leporino, pies arqueados, los bebes afectados sólo viven unos días, la mayoría no llega a nacer. La probabilidad es de 1 de cada 12,000 nacimientos.

**Fig. 5.19. Mutaciones Cromosómicas autosómicas que afectan el número cromosómico.**

## Mutaciones Cromosómicas

Síndrome	Nombre común	Cromosoma afectado	Número cromosómico	Características
<b>Klinefelter</b>	Trisomía XXY	X sexual de más en varones	44-XXY	Las personas afectadas, son varones estériles, con testículos poco desarrollados, gran estatura, presentan algunas características feminoides como, desarrollo de glándulas mamarias y vello púbico con una distribución femenina. La probabilidad de que nazca un bebe con esta enfermedad es de 1 en cada 1000 nacimientos de varones.
<b>Turner</b>	Monosomía XO	X sexual de menos en mujeres	44-XO	Lo padecen mujeres que sólo poseen un cromosoma sexual X, son estériles, la cabeza la tienen en forma de esfinge, les crece el pelo desde muy abajo, las glándulas mamarias están poco desarrolladas, los brazos y codos presentan ciertas deformidades, tienen baja estatura, su coeficiente intelectual va de medio a bajo, tienen una supervivencia normal. La frecuencia de aparición es de 1 de cada 2500 niñas que nacen.
<b>Doble Y</b>	Súper macho	Y sexual de más en varones	44-XYY	Esta anomalía consiste en una duplicación del cromosoma Y, son varones de gran estatura que ocasionalmente presentan un leve retraso mental y comportamiento violento, suelen ser fértiles, la probabilidad de padecer esta enfermedad es de 1 de cada 1000 niños que nacen.
<b>Del triple X</b>	Súper hembra ó trisomía XXX	X sexual de más en mujeres	44-XXX	Es una anomalía en las mujeres que poseen un cromosoma X de más, pueden llegar a tener algunos problemas de aprendizaje únicamente, en la mayoría de los casos pasa inadvertido, la frecuencia de aparición es de 1 de cada 1500 niñas que nacen.

**Fig. 5.20. Mutaciones Cromosómicas Sexuales que afectan el número cromosómico.**

## Actividades de Aprendizaje

### Actividad Práctica

#### Herencia Mendeliana

##### Introducción

La transmisión de los caracteres de los ascendientes a los descendientes, es lo que se conoce como herencia. Ya en las antiguas civilizaciones babilónicas, sirias y griegas se sabía que las características se transmiten de padres a hijos, pero no se conocía el mecanismo para que esto ocurriera, fue hasta el siglo XIX cuando Gregor Johann Mendel descubrió las leyes que rigen este proceso.

En los estudios que Mendel realizó con plantas de chícharo, se dio cuenta de cómo se transmiten las diferentes características, al cruzar a progenitores tan diferentes como pueden ser una planta alta con una enana ó una de semillas amarillas con una de semillas verdes.

Basándose en sus observaciones obtuvo las siguientes conclusiones, que existen caracteres dominantes y recesivos; que no importa cual de los progenitores (hembra o macho) aporte el carácter dominante para que este se exprese en la primera generación; que el carácter dominante aparece en una proporción de 3:1 en la F<sub>2</sub> cuando se estudia un sólo carácter; que hay tantos tipos distintos de células sexuales como de descendientes distintos en la segunda generación.

Con los datos recolectados durante ocho años postula dos leyes, para explicar la transmisión de las características hereditarias de generación en generación, la primera es la ley de la segregación y la

segunda es de la distribución independiente.

Mendel tuvo mucha suerte al poder observar la transmisión independiente de los caracteres del chícharo, porque ahora se sabe que los genes son los responsables de los rasgos que poseen los individuos, y se encuentran en los cromosomas guardando una posición fija, cuando los genes se encuentran en el mismo cromosoma se heredan juntos, a estos se les llama genes ligados, en el caso del chícharo hay algunas características que se encuentran en el mismo cromosoma, pero tan separadas que se transmiten en forma independiente.

La práctica que a continuación se describe, permitirá observar como se segregan las diferentes características en las plantas de chícharo, y hacer cruza de prueba para saber si los organismos que presentan el carácter dominante son homocigotos o heterocigotos.

##### Objetivos

- El alumno describirá como es la transmisión de las características hereditarias
- El alumno comprenderá que la transmisión de características de padres a hijos permite la continuidad de los seres vivos.

##### Material

20 canicas pequeñas verdes  
20 canicas pequeñas amarillas  
20 canicas pequeñas rojas  
20 canicas pequeñas blancas  
2 recipientes de plástico medianos  
2 cartulinas blancas

Maskin tape o diurex  
Plumones de colores

### **Método**

1. Se pegan las cartulinas en la mesa con el maskin tape para que no se muevan
2. Los recipientes se usan para contener las canicas
3. Las canicas verdes y amarillas representan a los genes del color de las semillas de los chícharos y las blancas y rojas, los genes del color de las flores del chícharo
4. Para ejemplificar la primera ley de Mendel, se cruzan las características por separado, primero las del color de la semilla; se colocan dos canicas amarillas (carácter dominante) que serán los genes del padre y al lado dos canicas verdes (carácter recesivo) que serán los genes de la madre
5. Se realiza la cruce utilizando el resto de las canicas, sacando los gametos, la F<sub>1</sub>, la F<sub>2</sub>, poniendo fenotipo y genotipo en cada generación
6. Se repiten los puntos 3, 4 y 5 para la característica color de la flor, con las canicas rojas (carácter dominante) y blancas (carácter recesivo)
7. Para ejemplificar la segunda ley de Mendel, se cruzan las dos características simultáneamente (color de la semilla y color de la flor), se colocan dos canicas amarillas y dos rojas que representan los genes del padre con el carácter dominante y al lado dos canicas verdes y dos blancas, que serán los genes de la madre con el carácter recesivo
8. Se realiza la cruce utilizando el resto de las canicas, sacando los gametos, la F<sub>1</sub>, la F<sub>2</sub>, poniendo fenotipo y genotipo en cada generación
9. Los plumones se utilizan para poner un círculo alrededor de los gametos, las flechas que indican el orden en que se fecundaron los gametos, los datos que requiere la cruce (indicar progenitores, gametos, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, fenotipo, genotipo y proporción fenotípica obtenida en la F<sub>2</sub>)
10. Se realiza una cruce de prueba con uno de los organismos obtenidos en la F<sub>1</sub> (semillas amarillas) en el ejercicio de la primera ley y se cruzan con uno de semillas verdes obtenido en la F<sub>2</sub>, de la misma ley, poniendo todos los datos que antes se mencionaron
11. Se realiza otra cruce de prueba con uno de los organismos obtenidos en la F<sub>1</sub> (flores rojas) en el ejercicio de la primera ley y se cruzan con uno de flores blancas obtenido en la F<sub>2</sub>, de la misma ley, poniendo todos los datos que antes se mencionaron

### **Resultados**

- Los alumnos entregaran las conclusiones que sacaron al realizar las diferentes cruces.
- Los estudiantes entregaran resuelto el cuestionario que contiene esta actividad.

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es la diferencia entre la primera y segunda leyes de Mendel?

2. ¿Por qué el carácter color de las semillas amarillas y color de las flores rojas son dominantes?
3. ¿Por qué el carácter color de las semillas verdes y color de las flores blancas son recesivos?
4. ¿Qué proporción fenotípica en la F<sub>2</sub> encontró en la primera ley de Mendel?
5. ¿Qué proporción fenotípica en la F<sub>2</sub> encontró en la segunda ley de Mendel?
6. ¿Para qué sirve la cruce de prueba?
7. ¿Qué proporción fenotípica encontró en la F<sub>1</sub> en la cruce de prueba?

### Sugerencias

- Se recomienda que la actividad se haga en equipos de cuatro o cinco personas
- Colocar un pedazo de maskin tape en la parte de abajo de las canicas para sostenerlas en la cartulina, y que no se rueden por la mesa.
- También se pueden usar bolitas de play-doh o plastilina en lugar de canicas
- Se pueden ejemplificar otras características utilizando canicas de otros colores.

### Bibliografía

- Biggs, A, Kapicka, Ch y Lundgren, L., “Biología. La dinámica de la

vida”, Ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2000, pp. 286-307.

- Solomon B. M., *Biología*. Ed. McGraw Hill, 5a ed. México, D.F., 2001, pp. 220-246.
- Tamarin, R. H., “Principios de Genética”, Ed. Reverté, S. A. ed 4a., Barcelona, España. 1996, pp. 15-44.

### Actividad Práctica

#### Grupos Sanguíneos en el Hombre Sistema ABO y Factor Rh

#### Introducción

Conocer el grupo sanguíneo de una persona es muy importante, contar con esta información puede salvarle la vida en caso de una enfermedad o accidente, ya que la atención que se le preste será en menor tiempo y de mejor calidad. El sistema de grupos sanguíneos **ABO** tiene cuatro tipos de sangre que son A, B, AB y O, esta tipificación se hace dependiendo del antígeno que produzcan las membranas de los glóbulos rojos y los anticuerpos presentes en el suero sanguíneo de cada persona.

Las pruebas de tipo sanguíneo también se utilizan para determinar si un progenitor **podría** ser el padre de un niño en una disputa legal de paternidad, pero nunca se podría demostrar concluyentemente, en cambio si pueden ser definitivas para negar el parentesco. En la actualidad se aplican pruebas genéticas más complejas para determinar la consanguinidad, entre las cuales están el análisis de bandas de ADN y la tipificación de tejidos, que es

un examen de los antígenos presentes en las superficies de las células somáticas; estas pruebas son confiables en un 99%.

Otro tipo de antígenos que también se producen en la membrana celular de los eritrocitos, son los factores Rh, de los cuales el más importante es el D que junto con el grupo sanguíneo son fundamentales para tipificar la sangre de una persona y no correr riesgos cuando se requiere de una transfusión sanguínea.

Los genes que determinan los grupos sanguíneos se comportan como alelos múltiples, al mismo tiempo el A y B como codominantes entre sí y dominantes con respecto al alelo O. En el caso del factor Rh D, se apega a los principios de la dominancia y la recesividad siendo el Rh<sup>+</sup> dominante sobre el Rh<sup>-</sup>, en una proporción de 3:1.

En esta práctica los alumnos se realizarán una prueba para saber que tipo sanguíneo tienen y cual es su factor Rh, utilizando los sueros Anti-A, Anti-B y Anti-D.

### Objetivos

- El alumno conocerá su grupo sanguíneo y su factor Rh.
- El alumno comprenderá la importancia del conocimiento de estos caracteres.

### Material

3 portaobjetos  
1 lanceta estéril  
3 palillos de madera  
Algodón  
Alcohol  
1 caja de petri

1 cristalizador  
Suero Anti-A  
Suero Anti-B  
Suero Anti-D  
Hoja blanca de papel  
Jabón  
Cloro

### Método

1. Lavar con agua y jabón los portaobjetos y las manos
2. Sobre la mesa colocar la hoja y en ella los tres portaobjetos secos, separarlos, y numerarlos del 1 al 3
3. Desinfectarse con un algodón con alcohol el pulgar izquierdo, en caso de ser zurdo, será el pulgar derecho
4. Abrir la lanceta y pinchar la yema del dedo desinfectado para que salgan tres gotas de sangre
5. Colocar una gota de sangre en el centro de cada portaobjetos
6. Agregar al portaobjetos 1 una gota de suero Anti-A, al 2 una gota de Anti-B y al 3 una de Anti-D, todas encima de la gota de sangre
7. Revolver con los palillos la sangre con los sueros, usando uno diferente para cada portaobjetos y tener cuidado de no confundirlos
8. Dejar reposar por uno o dos minutos y se observa la reacción
9. Si aglutina (formar grumos) la sangre, la reacción será positiva, si esto ocurre en el portaobjetos 1 la persona tendrá grupo sanguíneo A, en el 2 será

tipo B, en ambos AB y si no aglutina en ninguno será O

10. También en el portaobjetos 3 se verá una reacción de aglutinación, en donde se forman grumitos muy finos, si la reacción es positiva, la persona será Rh<sup>+</sup>, si no hay reacción es Rh<sup>-</sup>
11. Al terminar, cada alumno lavara sus portaobjetos con agua y jabón, una vez limpios se colocaran en una solución de agua jabonosa y cloro durante un día antes de enjuagarse y estar listos para volver a utilizarse
12. Los palillos, el algodón con el que se desinfectaron el dedo y la lanceta que usaron se envuelven en la hoja de papel que tienen en la mesa y se colocan en una bolsa de plástico, que se depositará en la basura

### Resultados

- Los estudiantes elaborarán un cuadro que contenga los datos obtenidos por todo el grupo.
- Entregarán contestado el cuestionario que contiene esta actividad.

### Cuestionario

1. ¿Qué genotipo presentan las personas que tuvieron tipo de sangre O?
2. ¿De quien puede recibir sangre una persona con grupo sanguíneo AB?
3. ¿Qué antígeno presenta en los glóbulos rojos una persona con grupo sanguíneo O?

4. ¿Qué anticuerpos produce en el suero sanguíneo una persona con tipo de sangre B?
5. ¿Cuál sería el genotipo de una persona con factor Rh<sup>+</sup>?
6. ¿A quien puede donar sangre una persona con grupo sanguíneo O?
7. Una persona con sangre tipo A y factor Rh<sup>-</sup>, de quien puede recibir sangre.

### Sugerencias

- La práctica se debe de realizar en forma individual.
- Cada estudiante se hará responsable de su material, ya que nadie debe tocar la sangre de otra persona.
- En la hoja que se coloco en la mesa, se deben poner todos los materiales (lanceta, algodón, palillos), para no ensuciar la mesa.
- Al final se recomienda limpiar las mesas con una franela con agua y cloro por precaución.

### Bibliografía

- Biggs, A, Kapicka, Ch y Lundgren, L., “Biología. La dinámica de la vida”, Ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2000, pp. 344-373.
- Solomon B. M., *Biología*. Ed. McGraw Hill, 5a ed. México, D.F., 2001, pp. 324-345.

- Tamarin, R. H., “Principios de Genética”, Ed. Reverté, S. A. ed 4a., Barcelona, España. 1996, pp. 553-563.

## Ejercicios

### I.- Herencia Mendeliana

#### Instrucciones:

El siguiente ejercicio se realiza en forma individual y extraclase, y sólo traerán los estudiantes al laboratorio los datos obtenidos después de realizarlo, con los cuales se hará un cuadro para vaciar la información recabada (Fig. 5.21)

- 1) Comprarán 1 Kg. de chícharos en vainas, de preferencia en el mercado para que sean más frescos y representativos.
- 2) Se estudiarán cuatro características que son: color y textura de las semillas y color y textura de las vainas.
- 3) Se cuenta el número total de vainas, se revisan para saber cuantas son verdes y cuantas amarillas.
- 4) Se revuelven todas las vainas y se examinan para ver cuantas son lisas (infladas) y cuantas rugosas.
- 5) Se abren las vainas para sacar los chícharos contando el número total de estos y se revisan uno por uno para saber cuantos son verdes y cuantos amarillos.
- 6) Se revuelven todos los chícharos y ahora se revisan para saber cuantos son lisos y cuantos rugosos.

- 7) Con los datos que se hayan obtenido los estudiantes se hace el cuadro en el pizarrón, en el cual cada uno anotara sus resultados y al final se podrán sacar los totales y las proporciones obtenidas para cada característica.

El número de vainas y de chícharos que se revisan, es una muestra pequeña pero estadísticamente representativa y permite ver que las proporciones que se obtienen se acercan a las que Mendel encontró. Sí se toma en cuenta que hay 25 estudiantes por grupo, en un grupo se estarían revisando 25 kg. de chícharos en vaina, que pueden contener alrededor de 4500 vainas y 30,000 semillas.

A pesar de que la muestra esta sesgada ya que la mayoría de los estudiantes viven en la zona conurbada norte de la Ciudad de México, y será el rumbo por donde adquieran los chícharos, las variedades que se venden en México no son muy diferentes en las características que se están estudiando.

En las variedades de semillas de chícharos que se pueden encontrar en México la característica dominante para el color es el verde, a diferencia de las que Mendel uso en donde era el amarillo.

**Fig. 5.21. Ejercicio # I Herencia Mendeliana**

Nombre del alumno	# total de vainas	Vainas verdes	Vainas amarillas	Vainas lisas	Vainas rugosas	# total de semillas	Semillas verdes	Semillas amarillas	Semillas lisas	Semillas rugosas
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										
11.										
12.										
13.										
14.										
15.										
16.										
17.										
18.										
19.										
20.										
21.										
22.										
23.										
24.										
25.										
Total										
Proporción										

## II.- Herencia Incompleta Enfermedad de Tay Sachs

Los grupos humanos en donde la aparición de la enfermedad de Tay Sachs es más frecuente son, los descendientes judíos de Europa Central y del Este, que viven en EEUU, en los cuales alrededor de 1 de cada 30 es portador de la mutación en el gen que codifica la enzima hexosaminidasa-A, que es causante de la enfermedad.

Otro caso son algunos individuos no judíos de origen canadiense francés de la región de Québec, y los grupos étnicos Cajún de Louisiana, que corren un riesgo similar al de los judíos. Existen otros grupos étnicos en los EEUU, cuya proporción es de 1 de cada 300 individuos de ser portadores de la mutación.

### Instrucciones:

Analice la Fig. 5.10, que es un árbol genealógico de la herencia del síndrome de Tay Sachs y conteste las preguntas siguientes:

- 1.- ¿Qué puedes deducir sobre la forma como la enfermedad de Tay Sachs se hereda en los familiares?
- 2.- ¿El gen que determina la enfermedad es dominante o recesivo, explica?
- 3.- ¿El gene causante de la enfermedad es autosómico o sexual?
- 4.- ¿Cuál es la deficiencia bioquímica que se presenta cuando una persona es homocigota para el gen mutante?
- 5.- Construye un árbol genealógico a partir de los siguientes progenitores: el padre normal y la madre normal pero

portadora del gen mutante, utiliza la simbología y los colores que se encuentran en la Fig. 5.10, e incluye la generación de los hijos que serán cuatro dos hombres uno normal y el otro portador y dos mujeres una normal y la otra portadora (numera a los hijos del 1 al 4), cuyos cónyuges serán normales y de los nietos, dos por cada hijo un hombre y una mujer.

## III.-Caracteres Hereditarios en el Ser Humano

Las características hereditarias en el ser humano que aparecen en la siguiente tabla, cumplen con los principios de la dominancia y la recesividad, las personas que presenten el carácter dominante pueden ser homocigotas o heterocigotas, dependiendo de si tienen los dos genes dominantes o uno dominante y uno recesivo, ya que con una sola vez que el gene dominante este presente es suficiente para que la característica aparezca.

Para que se manifieste el carácter recesivo, es necesario que los dos genes estén presentes y las personas que los tengan sean homocigotas para esa característica.

### Instrucciones:

Se realizará en equipos de dos personas, en donde una a la otra hará el fenotipo de su compañero para las características que se encuentran en la Fig.5.22, los caracteres observables pueden ser dominantes o recesivos. Posteriormente, se elaborará un cuadro general del grupo, en el cual verán las proporciones obtenidas.

Los estudiantes harán lo mismo en su casa (papas, abuelos hermanos, primos,

etc.) para tratar de averiguar de quien heredaron esas características.

<b>Fig. 5.22. Ejercicio III. Características Hereditarias en el Ser Humano</b>		
<b>Carácter</b>	<b>Dominante</b>	<b>Recesivo</b>
<b>Color del pelo</b>	<b>Oscuro</b>	<b>Claro</b>
<b>Tipo de pelo</b>	<b>Rizado</b>	<b>Lacio</b>
<b>Color de ojos</b>	<b>Oscuros</b>	<b>Claros</b>
<b>Forma de los ojos</b>	<b>Rasgados</b>	<b>Redondos</b>
<b>Longitud de las pestañas</b>	<b>Largas</b>	<b>Cortas</b>
<b>Grupo sanguíneo</b>	<b>A, B, AB</b>	<b>O</b>
<b>Factor Rh</b>	<b>Rh<sup>+</sup></b>	<b>Rh<sup>-</sup></b>
<b>Lengua enrollada en U</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
<b>Labios</b>	<b>Gruesos</b>	<b>Delgados</b>
<b>Lóbulo de la oreja</b>	<b>Libre</b>	<b>Adherido</b>
<b>Ventanas de la nariz</b>	<b>Anchas</b>	<b>Estrechadas</b>
<b>Hoyuelos en las mejillas</b>	<b>Presentes</b>	<b>Ausentes</b>
<b>Pecas</b>	<b>Presentes</b>	<b>Ausentes</b>
<b>Mechón blanco frontal en el pelo</b>	<b>Presente</b>	<b>Ausente</b>

## Problemas

Resuelva los siguientes problemas:

1. Si se cruza una planta de chícharo que tenga las vainas de color verde homocigotas (VV), con una que las presente amarillas homocigotas (vv), ¿qué proporción fenotípica y genotípica se encontrará en la F<sub>1</sub> y en la F<sub>2</sub>?
2. ¿Qué proporción genotípica y fenotípica se encontrará en la F<sub>1</sub> al cruzar una planta de chícharo que tenga las semillas amarillas heterocigotas (Aa), con una que las tenga verdes homocigotas (aa)?
3. En el chícharo las vainas verdes (VV) son dominantes sobre las vainas

amarillas (vv), y la forma de las semilla lisa (RR) es dominante sobre la rugosa (rr). ¿Cuál será el resultado al realizar un cruzamiento dihíbrido?, indique el fenotipo y genotipo en la F<sub>1</sub> y el fenotipo en la F<sub>2</sub>.

4. En el dondiego de noche, un gen afecta al color de las flores y otro a la altura de la planta. Los fenotipos correspondientes son los siguientes:  
R<sub>1</sub>R<sub>1</sub>-flor roja  
T<sub>1</sub>T<sub>1</sub>-planta alta  
R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>-flor rosa  
T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>-planta mediana  
R<sub>2</sub>R<sub>2</sub>-flor blanca  
T<sub>2</sub>T<sub>2</sub>-planta enana  
Determina las proporciones de fenotipos que se producirán si se autofecunda una planta dihíbrida (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub> T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>)

5. Si una yegua con pelaje de color blanco (BB), tiene un potrillo de color roano (BR), ¿Cuál se supondría que es el color del pelaje del caballo que es el padre?

BB-pelaje blanco

RR-pelaje rojizo

BR-pelaje roano

6. En el sistema de grupos sanguíneos ABO, los alelos A y B son codominantes y ambos son dominantes con respecto al alelo O, en una disputa de paternidad, una mujer con grupo sanguíneo AB afirma que uno de cuatro hombres es el padre de su hijo que es grupo sanguíneo A. ¿Cuáles de los siguientes hombres podrían ser el padre?

Hombre # 1 Tipo A

Hombre # 2 Tipo B

Hombre # 3 Tipo O

Hombre # 4 Tipo AB

7. En el ser humano la ceguera al color (daltonismo) esta dado por un gene que se localiza en el cromosoma X del par 23. En una pareja en donde él es daltónico y ella portadora ¿cómo serán sus hijos para esta característica?

Mujer normal  $X^CX^C$

Mujer portadora  $X^CX^c$

Hombre normal  $X^CY$

Hombre daltónico  $X^cY$

8. En los seres humanos, el daltonismo se hereda como un carácter recesivo ligado al cromosoma X. Una mujer de vista normal, cuyo padre era daltónico, se casa con un hombre de vista normal cuyo padre era daltónico. Esta pareja tiene una hija daltónica con un complemento normal de cromosomas. ¿Puede sospecharse infidelidad?

9. La hemofilia es un carácter ligado al cromosoma X, que se hereda en forma recesiva. ¿Cómo serán los hijos de una pareja en donde la madre es normal pero portadora del gene de la hemofilia y el padre es normal?

Mujer normal  $X^HX^H$

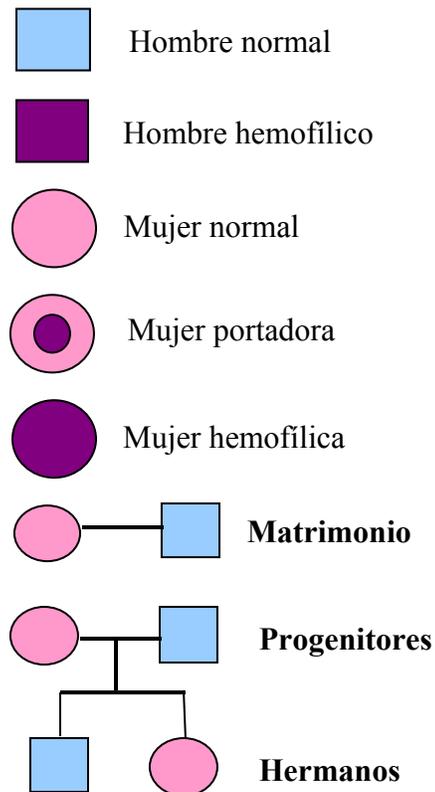
Mujer portadora  $X^HX^h$

Mujer hemofílica  $X^hX^h$

Hombre normal  $X^HY$

Hombre hemofílico  $X^hY$

10. Elabore un árbol genealógico para la herencia de la hemofilia, a partir de los progenitores siguientes: la madre es normal pero portadora de la enfermedad y el padre es hemofílico, incluye la generación de los hijos (los cónyuges serán normales) y los nietos dos por cada hijo sin importar el sexo, tú lo decides.



## Actividades de Evaluación: Cuestionario de Autoevaluación

**Instrucciones:** Relacione ambas columnas y coloque en el paréntesis la letra que corresponda a la respuesta correcta:

1.	¿Con qué tipo de organismos realizó Mendel sus estudios?	( )	A) Herencia
2.	¿Qué nombre recibe la apariencia externa de un individuo?	( )	B) Alelo
3.	A la descendencia producida por la cruce de dos organismos homocigotos diferentes se le llama:	( )	C) Homocigoto
4.	Los genes están localizados en los cromosomas y su función es:	( )	D) Genotipo
5.	¿Qué nombre recibe la forma alternativa de un gen?	( )	E) Locus
6.	Las mutaciones en las que sólo se altera un pedazo de cromosoma reciben el nombre de:	( )	F) Mutaciones estructurales.
7.	La enfermedad hereditaria en la cual la sangre no se coagula adecuadamente recibe el nombre de:	( )	G) Walter Sutton
8.	Al estudio de la transmisión de las características hereditarias se le llama:	( )	H) Mutación
9.	¿Con qué organismos realizó Morgan sus estudios?	( )	I) Generación F <sub>1</sub>
10.	A los individuos que tienen alelos idénticos para una característica particular, se les llama:	( )	J) Recesivo
11.	¿Que nombre recibe el lugar que ocupa en el cromosoma un gene para un rasgo dado?	( )	K) <i>Pisum sativum</i>
12.	¿Qué nombre recibe el proceso por el que un gene cambia su estructura?	( )	L) Híbrido
13.	Los organismos que presentan dos alelos diferentes para una característica particular reciben el nombre de:	( )	M) Fenotipo
14.	¿Qué investigadores redescubren los trabajos de Mendel?	( )	N) Dirigir la síntesis de proteínas
15.	En una cruce a la primera generación de descendientes se le llama:	( )	O) <i>Drosophila melanogaster</i>
16.	La constitución genética que posee un organismo recibe el nombre de:	( )	P) Heterocigoto
17.	¿Qué tipo de mutaciones pueden ocurrir en los organismos?	( )	Q) Hemofilia
18.	Al alelo que no se expresa en el heterocigoto se le da el nombre de:	( )	R) Génicas y cromosómicas
19.	Demostró que todos los cromosomas estaban dispuestos en pares y que llevaban a los genes	( )	S) Codominancia
20.	Cuando el fenotipo del heterocigoto muestra la expresión individual de cada alelo se habla de:	( )	T) Correns, De Vries, Tschermak

## Cuestionario de Preguntas Abiertas

**Instrucciones:** Conteste correctamente las siguientes preguntas.

1.-Explique brevemente en que consisten los estudios que realizó Mendel.

2.- ¿Qué organismo utilizó Mendel para sus experimentos y que características tomó en cuenta?

3.- ¿Cuándo y cómo presentó Mendel sus resultados?

4.- ¿Cuándo y quienes redescubren el trabajo de Mendel?

5.- ¿Cuáles fueron las principales aportaciones de Mendel a la Ciencia?

6.- ¿Como fue que los siete caracteres que Mendel estudio se transmitieron de manera independiente?

7.- ¿En que consiste la teoría cromosómica de la herencia y quién la establece?

8.- ¿A que conclusiones llega Morgan en sus estudios sobre genética?

9.- ¿Quién y cuando obtiene por primera vez el ADN?

10.- ¿Cuáles son las diferencias entre dominancia incompleta y codominancia?

11.- ¿Qué tipos de cruza dan por resultado las siguientes proporciones fenotípicas? 3:1, 1:2:1, 9:3:3:1.

12.-En el ser humano el sexo es determinado por las cromosomas X y Y

¿Qué nombre reciben estos y que par forman en el genotipo de una persona?

13.-El cruzamiento entre progenitores homocigotos, que difieren entre sí en un alelo ¿Qué nombre recibe?

14.-Siguiendo la pregunta anterior si la diferencia es en dos alelos ¿Qué nombre reciben?

15.-La fecundación de un óvulo (X) por un espermatozoide portador de un cromosoma X ¿Qué individuo dará como resultado?

16.-El cromosoma Y en los mamíferos ¿qué sexo determina?

17.-En el sistema ABO para grupos sanguíneos explique que alelos son dominantes, cuál recesivo, cuales y porque presentan condominancia y porque se dice que son alelos múltiples.

18.- ¿Cuáles son los principales tipos de mutaciones genéticas?

19.-Mencione dos mutaciones cromosómicas estructurales y diga que síndromes provocan y de las características de estos.

20.-Mencione dos mutaciones cromosómicas autosómicas que afectan el número cromosómico y diga que síndromes provocan y de las características de estos.

## Glosario

- **Aleatorio:** Que depende de la suerte o del azar.
- **Ascendiente:** Antepasado del cual desciende una persona.
- **Citología:** Parte de la Biología que estudia a la célula en sus diferentes aspectos.
- **Congénito:** Lo que se trae al nacer.
- **Cónyuges:** Consorte, marido y mujer respectivamente.
- **Cualitativo:** Referente a la calidad
- **Cuantitativo.:**Referente a la cantidad.
- **Descendientes:** Hijo, nieto o cualquier persona que descienda de otra.
- **Electroforesis:** Método de separación de proteínas y otras molécula, por medio de una corriente eléctrica.
- **Eslavo:** Del grupo étnico formado por rusos, bielorrusos, ucranianos, polacos, serbios, checos etc.
- **Empírico:** Que se apoya en la experiencia y la observación.
- **Feto:** Producto de la concepción que no ha llegado a nacer, pero que tienen las formas de la especie.
- **Fortuito:** Casual.
- **Hipogonadismo.** Poco desarrollo de las gónadas.
- **Hipotonía:** Poca resistencia muscular.
- **Horticultores:** Personas que se ocupan de los cultivos de la huerta.
- **Hoz:** En forma de media luna.
- **Leucocitos:** Glóbulos blancos, células ameboides incoloras que defienden al cuerpo contra microorganismos patógenos.
- **Patológico:** Que causa una enfermedad.
- **Síndrome:** Conjunto de síntomas que caracterizan una enfermedad.

## Bibliografía

- Alexander, P., Bahret, M., Chaves, J., “Biología”, Ed. Prentice Hall, 1992, pp 699.
- Barahona, A. “El hombre de las moscas”. Ed. Pangea, México, D. F. 1992, pp. 96.
- Bernstein, R., Bernstein, S., “Biología”, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 10ª edición, 1998, pp. 710.
- Biggs, A, Kapicka, Ch y Lundgren, L., “Biología. La dinámica de la vida”, Ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2000, pp. 286-307.
- Blanc, M., “Gregor Mendel: la leyenda del genio desconocido”. **Mundo Científico**, # 34, Vol. 4, 1984, pp. 274 – 287.
- Casino, R. G., “Experimentos en el laboratorio”, **Muy Especial**, N° 27, pp.52-55.
- Karp, G., “Biología Celular y Molecular”, Ed. Mc. Graw Hill Interamericana, México, D.F., 1998, pp. 746.
- Mendel, G. H. “Experimentos de Hibridación en Plantas”, Ed. U.N.A.M. México, D.F., 1965, pp. 49.
- Salamanca F., “El Olvidado Monje del Huerto”. Ed. Pangea. México, D. F., 1991, pp. 107.
- Solomon, B. M., *Biología*. Ed. McGraw Hill, 5a ed. México, D.F., 2001, pp. 220-246.
- Tamarin, R. H., “Principios de Genética”, Ed. Reverté, S. A. ed 4a., Barcelona, España. 1996, pp. 15-44.
- [http://www.library.villanova.edu/services/exibits/gregor\\_johann\\_mendel.htm](http://www.library.villanova.edu/services/exibits/gregor_johann_mendel.htm)
- [http://ejb.ucv.cl/genweb/genetica/Asparchivos/capt9\\_3fig.htm#fig3b](http://ejb.ucv.cl/genweb/genetica/Asparchivos/capt9_3fig.htm#fig3b)
- [http://mx.encyclopedia.msn.com/encyclopedia/761552060/Karl\\_Landsteiner.html](http://mx.encyclopedia.msn.com/encyclopedia/761552060/Karl_Landsteiner.html)

- <http://www.hemofilia.com/op3/2/47>
- [http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo\\_ov/2BCH/B4 INFORMACION/T4\\_10...](http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/2BCH/B4 INFORMACION/T4_10...)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Mutaci%C3%B3n>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Aberraci%C3%B3n\\_cromos%C3%B3mica](http://es.wikipedia.org/wiki/Aberraci%C3%B3n_cromos%C3%B3mica)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Genoma>
- <http://www.biotech.bioetica.org/ap1.htm>
- <http://www.elergonomista.com/biologia/genetica.htm>
- [http://espanol.pregnancyinfo.net/sindrome\\_de\\_edwards.html](http://espanol.pregnancyinfo.net/sindrome_de_edwards.html)
- [http://espanol.pregnancyinfo.net/sindrome\\_de\\_patau.html](http://espanol.pregnancyinfo.net/sindrome_de_patau.html)
- [http://espanol.pregnancyinfo.net/cromosoma\\_x\\_extra.html](http://espanol.pregnancyinfo.net/cromosoma_x_extra.html)

## Hoja de respuestas

### Solución a los Problemas

#### Problema # 1

La proporción fenotípica en la F<sub>1</sub> es de: 100% con vainas de color verde.  
 La proporción genotípica en la F<sub>1</sub> es de: 100% heterocigotos.  
 La proporción fenotípica en la F<sub>2</sub> es de: 3:1 (tres con vainas verdes y una con amarillas).  
 La proporción genotípica en la F<sub>2</sub> es de: 50% heterocigotos y 50% homocigotos.

#### Problema # 2

La proporción genotípica en la F<sub>1</sub> es de: 50% heterocigotos y 50% homocigotos.  
 La proporción fenotípica en la F<sub>1</sub> es de: 50% con semillas amarillas y 50% con semillas verdes.

#### Problema # 3

La proporción fenotípica en la F<sub>1</sub> es de: 100% plantas con vainas verdes y semillas lisas.  
 La proporción genotípica en la F<sub>1</sub> es de: 100% heterocigotas para las dos características que se estudian.  
 La proporción fenotípica en la F<sub>2</sub> es de: 9 plantas con vainas verdes y semillas lisas, 3 plantas con vainas verdes y semillas rugosas,

3 plantas con vainas amarillas y semillas lisas y 1 con vainas amarillas y semillas rugosas.  
 9:3:3:1.

#### Problema # 4

Proporción fenotípica  
 1/16 con flores rojas y planta alta  
 2/16 con flores rojas y plantas medianas  
 2/16 con flores rosas y plantas altas.  
 4/16 con flores rosas y plantas medianas.  
 1/16 con flores rojas y planta enana.  
 2/16 con flores rosas y plantas enanas.  
 1/16 con flores blancas y planta alta.  
 2/16 con flores blancas y planta medianas  
 1/16 con flores blancas y planta enana.

#### Problema # 5

El padre puede ser:  
 RR – pelaje rojizo ó  
 BR – pelaje roano.

#### Problema # 6

El padre puede ser cualquiera de los cuatro hombres.

#### Problema # 7

Los hijos serán:  
 ¼ de las mujeres portadoras  
 ¼ de las mujeres daltónicas  
 ¼ de los varones daltónicos  
 ¼ de los varones normales

#### Problema # 8

La hija no puede ser de ese padre si hay infidelidad.

#### Problema # 9

¼ de las mujeres normales  
 ¼ de las mujeres portadoras  
 ¼ de los varones normales  
 ¼ de los varones hemofílico

#### Solución del cuestionario de autoevaluación

1.- K	6.- F	11.-E	16.-D
2.- M	7.- Q	12.-H	17.-R
3.- L	8.- A	13.-P	18.-J
4.- N	9.- O	14.-T	19.-G
5.- B	10.-C	15.-I	20.-S

## Capítulo 6

### *Ingeniería Genética y sus Aplicaciones*

*¿Por qué ésta magnífica tecnología científica, que ahora trabaja y nos hace la vida más fácil, nos aporta tan poca felicidad? La respuesta es ésta, simplemente porque aún no hemos aprendido a usarla con tino.*

*Albert Einstein*

## ÍNDICE

	Pág.
• <b>Ingeniería Genética y sus Aplicaciones</b>	222
• <b>Introducción</b>	222
• <b>Objetivos del Capítulo</b>	222
-Conceptos previos	222
• <b>La Ingeniería Genética</b>	222
• <b>Las Enzimas de Restricción</b>	224
• <b>Los Vectores</b>	225
-Los plásmidos	226
-Los bacteriófagos	226
-Los cósmidos	227
• <b>Los Huéspedes</b>	227
-Las bacterias	227
-Las levaduras	229
-Células vegetales	230
-Células animales	230
• <b>La Clonación</b>	232
-Megan y Morag	232
-La oveja Dolly	233
-La clonación y la tecnología del ADN recombinante	234
• <b>Actividades de aprendizaje</b>	237
• <b>Sugerencias de actividades de aprendizaje</b>	238
• <b>Actividades de Evaluación</b>	238
-Cuestionario	238
• <b>Glosario</b>	239
• <b>Bibliografía</b>	241
• <b>Hoja de Respuestas</b>	241

# Ingeniería Genética y sus Aplicaciones

## Introducción

La biotecnología es la ciencia que aprovecha e integra los conocimientos biológicos y químicos con el fin de desarrollar técnicas de producción industrial, utilizando a los sistemas vivos como auténticos centros de producción, principalmente a los microorganismos, células vegetales y animales. Estos son algunos campos de investigación de la biotecnología: la **ingeniería de la fermentación**, la **ingeniería enzimática**, y la **ingeniería genética**.

En la década de los años setenta del siglo XX, surge la ingeniería genética como una rama de la biotecnología, la cual es la encargada del desarrollo técnico, en la reprogramación de células vivas para la obtención de productos biológicos; emplea para este fin sólo los conocimientos de biología que le son útiles, aquellos que son susceptibles de ser aplicados a procesos de producción, cuyo rendimiento y calidad permiten una explotación industrial a gran escala.

La **ingeniería genética** consiste en un conjunto de técnicas, útiles para modificar el material genético de células vivas, con el propósito de dotarlas de nuevas propiedades. Estas modificaciones inducidas son nuevas combinaciones de genes de diferentes organismos, por esta razón, también es reconocida la ingeniería genética como la **tecnología del ADN recombinante**.

La ingeniería genética, como parte de la biotecnología, proporciona beneficios para la humanidad, ya que permite la obtención masiva de sustancias y organismos

genéticamente modificados, que dan soluciones a muchos de los problemas que enfrenta la humanidad, como la escasez de alimento o la cura a diferentes enfermedades. Estos productos impactan a varios sectores productivos como: farmacéuticos, médicos, agroquímicos, alimenticios, industriales, ecológicos, entre otros.

## Objetivos del Capítulo

### El Lector:

- **Comprenderá en que consiste la tecnología del ADN recombinante y sus aplicaciones.**
- **Explicará las implicaciones de la manipulación genética.**
- **Explicará las implicaciones de la clonación de organismos.**

<b>Conceptos previos:</b> ADN, gen, plásmido, código genético, replicación del ADN, nucleótidos, síntesis de proteínas, proteínas, enzimas, virus, células procariontas y eucariontas.
--

## La Ingeniería Genética

La **ingeniería genética**, también llamada **tecnología del ADN recombinante** es un conjunto de técnicas, que tienen como fin cortar y unir segmentos de ADN en determinadas secuencias de nucleótidos. A través de esta metodología se transfieren segmentos de ADN de interés para el hombre a virus o bacterias.

Gracias al desarrollo de la tecnología del ADN recombinante, en los últimos treinta años han dado importantes avances en la cartografía de genes, en el diagnóstico de

ciertas enfermedades, en la producción comercial de productos genéticos humanos y en la transferencia de genes entre especies diferentes, tanto en plantas como en animales. (Fig. 6.1.)



**Fig. 6.1.** La tecnología del ADN recombinante, permite la construcción de células con nuevas combinaciones de genes de especies diferentes. Tomado de [www.redfrontetransgenicos.net/actuales/fotos/ADNchain.jpg](http://www.redfrontetransgenicos.net/actuales/fotos/ADNchain.jpg).

La ingeniería genética surge en el siglo XX como resultado de los progresos técnicos de la biología molecular, de la bioquímica y de la genética; marcando su inicio el descubrimiento de unas moléculas capaces de cortar la larga cadena de ADN, estas moléculas se conocen con el nombre de **enzimas de restricción**. Este hallazgo lo realizó el equipo del estadounidense Halminton Smith, en el año de 1970, además purificó dicha enzima e identificó los lugares en los que corta. Posteriormente se han aislado centenares de enzimas de restricción.

La tecnología del ADN recombinante se nutre de los conocimientos de otros campos de la biología, como son: los métodos de cultivo de células, de la microbiología y la biología celular. A través del tiempo la tecnología del ADN recombinante se ha

consolidado y ha adquirido identidad propia, como un sector de la biotecnología. De manera general podemos establecer la secuencia de pasos que se siguen para la **construcción de las moléculas de ADN recombinante**:

- **Paso I:** Para aislar un determinado gen se necesita utilizar las enzimas de restricción, que reconocen y cortan en secuencias específicas de nucleótidos las largas moléculas de ADN para obtener fragmentos de la misma.
- **Paso II:** Se utilizan pequeñas moléculas de ADN como vectores, donde se insertan los fragmentos de ADN ajeno obtenidos por la hidrólisis enzimática, formándose de esta manera, la nueva combinación genética llamada molécula de ADN recombinante. Los vectores pueden duplicarse autónomamente en células huésped y facilitan la manipulación de la molécula de ADN recombinante recién creada.
- **Paso III:** El vector que lleva la molécula de ADN recombinante, se transfiere a una célula huésped. Dentro de esta célula, la molécula de ADN recombinante se replica, produciendo decenas de copias idénticas llamadas clones.
- **Paso IV:** Se cultivan las células huésped para formar una población de células que posean el ADN clonado.
- **Paso V:** Se extrae de las células huésped las moléculas de ADN clonado para purificarse y analizarse.
- **Paso VI:** Se promueve la expresión genética del ADN clonado y se aíslan y analizan las proteínas recién sintetizadas.

## Las Enzimas de Restricción

La ingeniería genética utiliza como herramientas, distintas enzimas que actúan directamente sobre el ADN.

La piedra angular de la tecnología del ADN recombinante son las **enzimas de restricción**, también conocidas como **endonucleasas de restricción**, estas moléculas tienen la capacidad de reconocer invariablemente una misma secuencia de ADN y de cortar en ese preciso lugar. Esta secuencia específica de nucleótidos se denomina **sitio de restricción**. (Fig. 6.2.)

En la actualidad se han identificado cerca de 200 tipos diferentes de enzimas de restricción, para poder reconocer a cada una de ellas se les ha asignado un nombre de acuerdo a un sistema alfanumérico, por ejemplo la enzima **EcoRI**, Eco proviene del nombre del organismo donde se localizó *Escherichia coli* y se pronuncia “eco-erre-uno”. La enzima **HindIII** se obtuvo de *Hemophilus influenzae* y se pronuncia “jin-de-tres”.

La mayoría de las enzimas de restricción que se emplean en la tecnología del ADN recombinante, producen una ruptura disimétrica, cada fragmento obtenido posee una cadena que supera a la otra en unos cuantos nucleótidos, estos salientes se conocen como **extremos cohesivos** o **colas pegajosas**, por ejemplo, la enzima **EcoRI** reconoce sólo la secuencia GAATTC como sitio de restricción, como el ADN es una molécula bicatenaria y antiparalela, las cadenas serán leídas una en dirección 5'-3' y la complementaria en 3'-5' para crear extremos pegajosos. (Fig. 6. 3 y 6.4.)

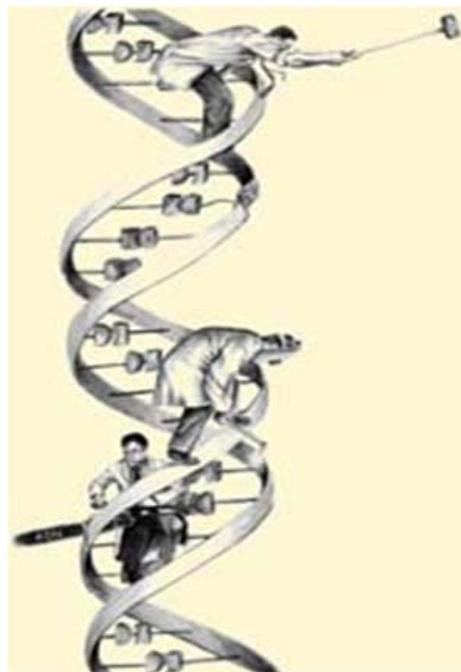


Fig. 6.2. Las enzimas de restricción son las responsables de cortar segmentos de ADN, pilares de la tecnología del ADN recombinante. Tomado de [www.biotech.bioetica.org/imagenes/wpeDu.gif](http://www.biotech.bioetica.org/imagenes/wpeDu.gif).

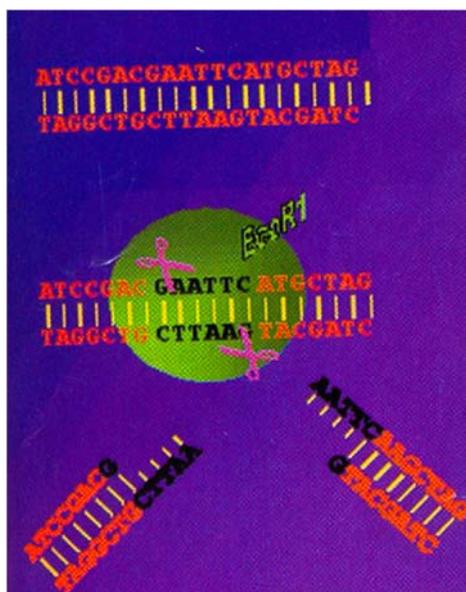


Fig. 6.3. Como puede observarse la enzima EcoRI sólo reconoce la secuencia GAATTC, y como las dos cadenas de ADN tiene sentido contrario se forman los extremos cohesivos. Tomado de *Mundo Científico* No. 225.

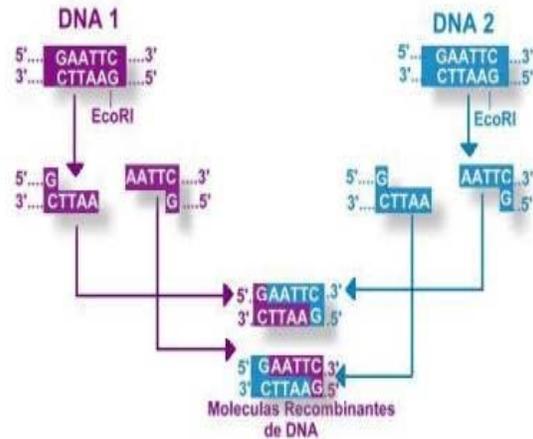


Fig. 6.4. Se pueden observar los sitios de restricción que reconoce la enzima *EcoRI*, como se forman las colas pegajosas y la complementariedad de los dos ADN distintos, y finalmente para asegurar la unión de los fragmentos se utilizan las enzimas ligasas. Tomado de [http://personal.globred.com/alao\\_rdenlastareas/categoria.asp?idcat=28](http://personal.globred.com/alao_rdenlastareas/categoria.asp?idcat=28)

Algunas enzimas de restricción cortan por el centro y producen fragmentos con terminaciones completas, llamadas **extremos romos**, para ser utilizados por la tecnología del ADN recombinante es necesario modificarlos, creando extremos de cadena sencilla o colas de nucleótidos para adicionarlos a los extremos romos, por ejemplo, la enzima **desoxinucleotidil transferasa terminal** fábrica colas de nucleótidos y las pega, una cola poliA en un extremo de un ADN y una cola poliT al otro ADN, formando colas complementarias que ahora sí se pueden ligar. (Fig. 6.5.)

Las enzimas de restricción no son las únicas que utiliza la tecnología del ADN recombinante. Las **enzimas ligasas**, juegan un papel importante en estas técnicas, ya que aseguran la estabilidad de las nuevas uniones entre los fragmentos de los genes modificados, otra, son las **enzimas polimerasas**, que sirven para reconstruir

una cadena de ADN complementaria a partir de una sola cadena de ADN molde.

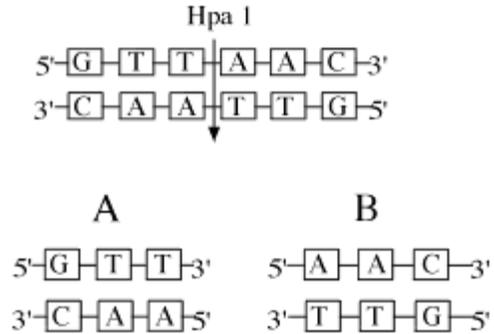


Fig. 6.5. La enzima de restricción *Hpa I* reconoce la secuencia de nucleótidos y al cortar la doble hélice da origen a dos nuevos fragmentos A y B cuyas terminaciones están apareadas y consecuentemente son extremos romos. Tomado de [http://www.drscope.com/pac/cardiologia/c2/c2\\_pag9.htm](http://www.drscope.com/pac/cardiologia/c2/c2_pag9.htm)

Las polimerasas se utilizan principalmente, en los métodos de secuenciación que permiten el encadenamiento de bases de una molécula de ADN. En el proceso de amplificación de moléculas de ADN se utilizan las enzimas polimerasas de reacción en cadena o PCR (Polymerase chain reaction) que promueven la síntesis de millones de copias de un fragmento de ADN.

## Los Vectores

Una vez que las enzimas de restricción han cortado a la larga molécula de ADN, los fragmentos obtenidos deben insertarse en moléculas de ADN transportadoras llamadas, **vectores** o **vehículos de clonación**, que son una especie de microcromosomas, que tiene como fin “presentar” al ADN ajeno a la bacteria o microorganismo que lo posea, como si se tratara de su propio material genético. La tecnología del ADN recombinante emplea

tres tipos principales de vectores: los **plásmidos**, los **bacteriófagos** y los **cósmidos**.

Los vectores deben reunir las siguientes características para ser utilizados en la tecnología del ADN recombinante:

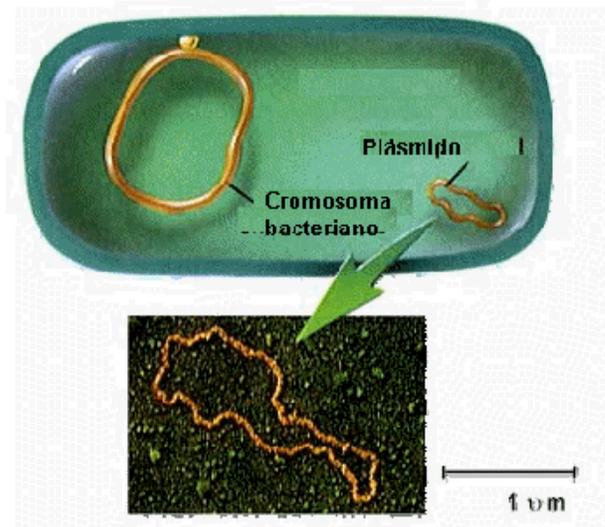
- Deben tener estabilidad una vez que contenga un gen ajeno es decir que no lo pierda ni lo modifique.
- Deben poder replicarse junto con el segmento de ADN ajeno que transporta.
- Necesitan multiplicarse en diferentes tipos de huéspedes.
- Poseer sitios de restricción limitados y bien localizados, donde se inserte el ADN ajeno.
- Tener marcadores de selección, que permita al investigador identificarlos. Es común que estos marcadores sean genes resistentes a antibióticos o genes que sinteticen algún pigmento.
- Sea fácil de recuperar de la célula huésped.

## Los plásmidos

**Los plásmidos** son moléculas pequeñas de ADN extracromosómico, bicatenarias y circulares, que se encuentran de forma natural en las bacterias, son moléculas lo suficientemente autónomas para mantenerse en las células bacterianas de generación en generación; estas características las aprovecha la ingeniería genética para utilizarlos como vehículos de genes ajenos.

En la actualidad se han mejorado y optimizado algunos plásmidos,

insertándoles elementos necesarios para su manipulación como: sitios de restricción limitados, secuencias que faciliten la expresión del gen a proteínas y genes de resistencia a antibióticos específicos llamados **marcadores de selección**. Estos marcadores permiten, que las bacterias que albergan al plásmido se vuelvan resistentes a un determinado antibiótico o que produzcan un pigmento azul muy característico, lo que facilita su identificación, el ejemplo clásico es el plásmido pB322, aunque en la actualidad se producen algunos más sofisticados como el pUC18. (Fig. 6.6.)



**Fig. 6.6.** Los plásmidos bacterianos, son moléculas de ADN extracromosómicas, útiles para la tecnología del ADN recombinante. Tomado de <http://unne.edu.ar/biología/imagenes/Plasmidos.jpg>.

## Los bacteriófagos

**Los bacteriófagos** son virus que de forma natural infectan bacterias, inyectando su material genético dentro de estas, ya que el cromosoma vírico utiliza la maquinaria de la bacteria para replicarse y expresarse y formar nuevos virus. Estas características de

infección viral son empleadas por la tecnología del ADN recombinante, para utilizarlos como vectores, el fago lambda (Fig. 6.7.), es el virus más utilizado por esta técnica, del cual se conoce perfectamente la secuencia de nucleótidos que integra a su material genético. El tercio central del cromosoma es prescindible y puede ser remplazado por un ADN ajeno, sin alterar su capacidad de infección, necesaria para clonar y expresar el cromosoma híbrido dentro de la célula huésped.

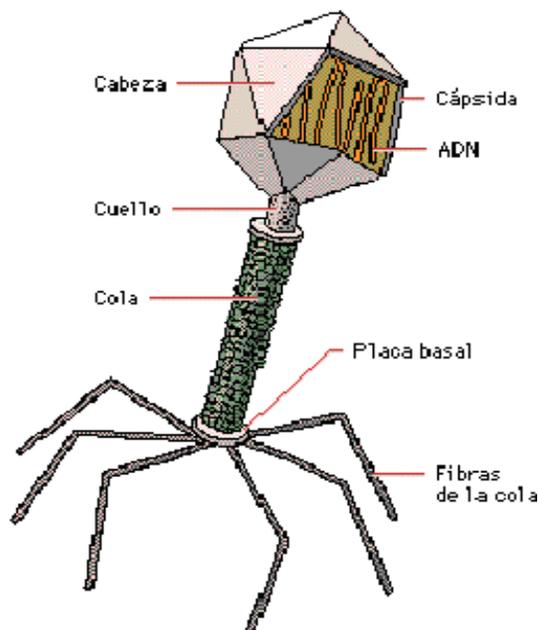


Fig. 6.7. Estructura del bacteriófago lambda. Se puede observar la cápsida que es la cabeza del fago y una cola donde se insertan unas fibras a manera de patas. Tomado de [www.prof.uniandes.edu.co/infquimi/VI.feria/imagenes](http://www.prof.uniandes.edu.co/infquimi/VI.feria/imagenes).

## Los cósmidos

Los cósmidos son moléculas de ADN construidas artificialmente por la ingeniería genética, son híbridos de cromosomas de bacteriófagos y plásmidos. Los cósmidos

poseen todos los elementos necesarios para ser utilizados como vectores, poseen sitios de restricción, marcadores, etc. (Fig. 6.8.)

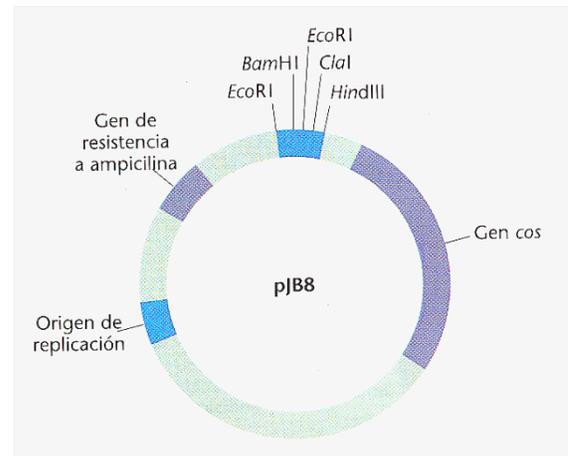


Fig. 6.8. Mapa del cósmido pJ88, el cual tiene un origen de replicación bacteriano, al igual posee los marcadores de resistencia a antibióticos como lo poseen los plásmidos, el gen cos de bacteriófago. Tomado de Klug, 2001.

## Los Huéspedes

La ingeniería genética utiliza un gran número de organismos tanto procariontes como eucariontes como huéspedes como: bacterias, hongos microscópicos y células de plantas y animales.

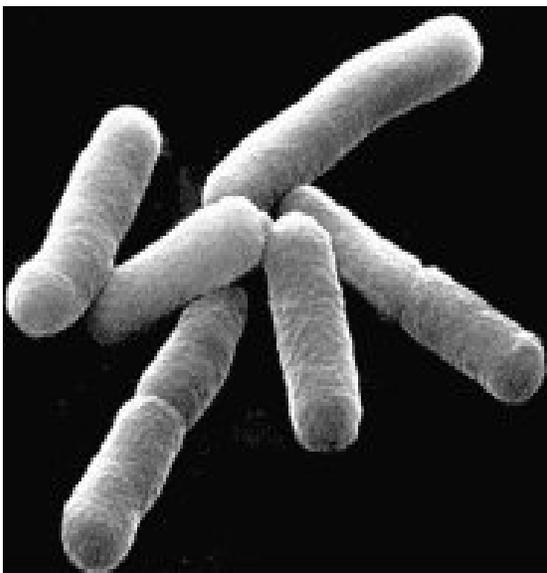
**Los huéspedes** son los organismos que alojan al gen extraño o ajeno, el cual se va a incorporar al material genético de la célula huésped, que debe ser capaz de replicarse en el proceso de reproducción celular y expresarse en la producción de proteínas.

## Las bacterias

Las bacterias son los organismos procariontes comúnmente empleados en la tecnología del ADN recombinante, algunos

ejemplos son: *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* y *Streptomyces sp.* La *Escherichia coli*, es el huésped más utilizado en los laboratorios, en especial la cepa K12.

Para valorar si un organismo puede ser un buen candidato para ser utilizado como huésped en ingeniería genética, se toman como referencia las propiedades y eficacia de *E. coli*, ya que se han tenido importantes resultados en la tecnología del ADN recombinante, e incluso ya se han producido industrialmente varias proteínas que están en el mercado. La lista de ventajas para utilizar esta bacteria son mayores que las desventajas. (Fig. 6.9.)



**Fig. 6.9. *Escherichia coli*.** Estas bacterias son muy utilizadas en la tecnología del ADN recombinante, ya sea como célula huésped o su plásmido como vector. Tomado de [www.wisensechaft-online.de/sixcms/media Php/e\\_coli](http://www.wisensechaft-online.de/sixcms/media Php/e_coli).

#### Ventajas:

- Producción en masa de ciertas proteínas que se secretan en el medio de cultivo en el que se encuentran.

- Es un organismo fácil de cultivar, cosechar y manipular.
- Acepta una gran variedad de plásmidos, bacteriófagos y cósmidos como vectores.
- Se tiene bien identificado y localizado su material genético.

Para introducir el vector recombinante (plásmido) en bacterias y crear células transgénicas se llevan a cabo los siguientes pasos:

- I. El vector recombinante (lleva el gen de interés) se transfiere a las células huéspedes por **transformación**, que es el proceso en el que las moléculas de ADN recombinante, se hacen pasar hacia el interior de la bacteria, a través de su membrana plasmática. Puede ser por sometimiento de las células a sustancias químicas, que permeabilizan a las membranas para que permitan el libre acceso a los vectores o por **electroporación** el cual consiste en aplicar descargas eléctricas por milisegundos para formar poros en la membrana.
- II. Las células obtenidas se transfieren a cajas de cultivo, donde se dejan reproducir para formar colonias. Todas las bacterias de una colonia son clones, genéticamente idénticas, ya que proceden de una sola célula. Las diferentes colonias se analizan para identificar a las que poseen el plásmido con el gen ajeno.
- III. Las bacterias que poseen el gen extraño se cultivan masivamente para producir proteínas de interés para el ser humano.

## Las levaduras

Los investigadores utilizan no sólo organismos procariotas como huéspedes, sino también emplean distintos tipos de organismos eucariotas. Existen genes de origen eucariota que las bacterias no pueden decodificar en proteínas, debido a que no poseen los elementos moleculares o celulares necesarios para realizar la expresión del gen. Para subsanar este problema, se comenzaron a utilizar organismos eucariotas que si los poseyeran, como, las levaduras, células de plantas y animales.

Las **levaduras** son organismos eucariotas, unicelulares, que son fáciles de manipular y se cultivan en medios semejantes a los empleados para desarrollar cultivos bacterianos, al ser organismos eucariotas contienen los elementos tanto moleculares como celulares que permiten la expresión de genes eucariotas extraños, además, la mayoría de las proteínas que se producen por la técnica del ADN recombinante en levaduras se segregan al medio de cultivo, facilitando la obtención del producto.

Los cromosomas de las levaduras se han estudiado, identificado y localizado cada uno de sus genes, creándose con esta información los mapas genéticos con gran detalle. (Fig. 6.10)

Las células de levaduras de forma natural poseen un plásmido nombrado **plásmido dos micras** o **plásmido 2  $\mu$** , que los investigadores utilizan como vector de clonación en la tecnología del ADN recombinante, por estas razones son utilizadas por la tecnología del ADN como excelentes vectores- huéspedes.

La Ingeniería genética ha construido unos **cromosomas artificiales de levadura**, más conocidos como **YAC** (siglas del inglés

yeast artificial chromosome). Se trata de cromosomas lineales que contienen dos brazos cromosómicos de levadura en cada extremo, un origen de replicación, también llamado **ARS**, un centrómero de levadura que permite la distribución del YAC replicado a las células hijas, marcadores y un grupo de sitios de restricción donde se puede insertar el fragmento de ADN extraño.

En los YAC se pueden insertar moléculas de ADN de más de 1 megabase de longitud (1 megabase = 1,000,000 de pares de bases), estas características hacen a los YAC excelentes vectores para genes humanos.

La levadura *Saccharomyces cerevisiae*, conocida comúnmente como levadura de cerveza, utilizada por siglos en los procesos de producción de vino y pan, han sido particularmente estudiadas por la ingeniería genética para la producción de proteínas ajenas de interés industrial.

Se han logrado producir una variedad de proteínas extrañas a lo largo de los últimos años, el caso más sonado es la producción de la vacuna contra la hepatitis B, obtenida a través de la inserción del gen del antígeno HBsAg a un plásmido y utilizando como huésped a *S. cerevisiae*, en la que se produjo la proteína del antígeno HBsAg.

La vacuna en la actualidad se encuentra disponible en el mercado.

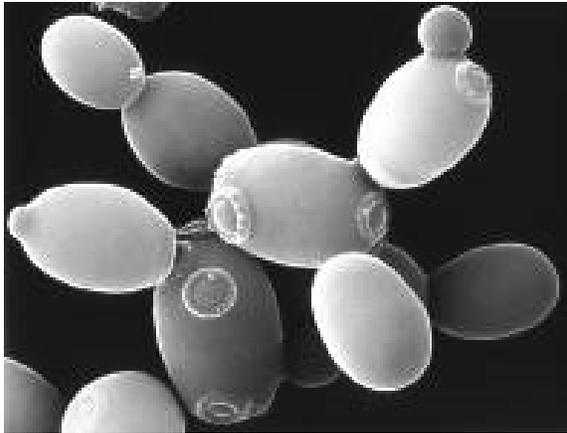


Fig. 6.10. La levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Organismo unicelular, eucarionte que posee el plásmido 2 $\mu$ . Tomado de [www.foodnews.ch/x-plainmefood/40-sicherheit/images](http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/40-sicherheit/images).

### Células vegetales

Aplicar la tecnología del ADN recombinante en células vegetales, fue todo un reto debido a que proceden de organismos pluricelulares complejos y con tejidos especializados, por si fuera, poco no poseen plásmidos que ayuden en el proceso de transformación.

Las cosas empezaron a cambiar a mediados de los años 70's del siglo XX, cuando un grupo de investigadores belgas descubrieron en el suelo a la bacteria *Agrobacterium tumifaciens*, encargada de producir tumores en la mayoría de las plantas, esta bacteria contiene un plásmido denominado Ti, el cual a su vez posee un segmento genético conocido como ADN-T, encargado de transferir genes a la célula vegetal huésped. (Fig. 6.11.)

La secuencia ADN-T es la responsable de la formación de los tumores, llamados comúnmente agallas de la corona. El gen extraño que se desea injertar lo hace en el segmento ADN-T de Ti, de esta forma la bacteria puede transferir el plásmido alterado a la célula vegetal.

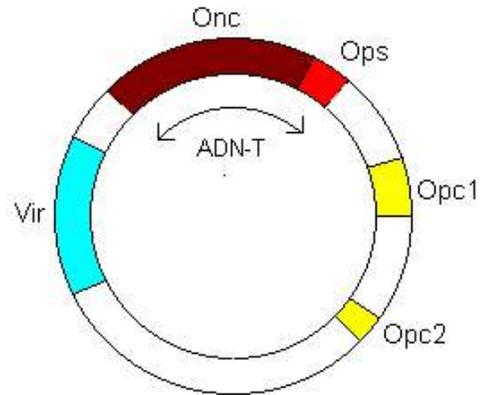


Fig. 6.11. Mapa del plásmido Ti, muestra el fragmento ADN-T el cual se transfiere al genoma de la planta. Tomado de [www.xtec.es/fcarrasc/transgenicos.htm](http://www.xtec.es/fcarrasc/transgenicos.htm)

Dentro de la célula huésped el plásmido libera al ADN-T con el gen ajeno para que se incorpore a un cromosoma de la planta. En la actualidad el plásmido Ti es el vector indispensable en los trabajos de ingeniería genética en plantas. Las plantas y los animales que contienen un gen ajeno se denominan **organismos transgénicos** u **organismos genéticamente modificados, OGM.** (Fig. 6.12.)

### Células animales

Una de las prioridades de la ingeniería genética es la producción de proteínas humanas viables, es decir que no sólo se produzcan completas, sino que también estén bien plegadas, provistas de todas las modificaciones secundarias que pueda exigir su correcto funcionamiento, su estabilidad y su inocuidad. En la mayoría de los casos sólo las células de mamífero en cultivo, han cubierto satisfactoriamente los requisitos para producir dichas proteínas.



**Fig. 6.12. Tomate Flavr-Savr. Primer organismo transgénico, que fue comercializado en 1994 en los E. U, posee genes que retardan el proceso de maduración y de esta manera pueden durar mayor tiempo en el anaquel. Tomado de [www.porquebiotecnología.com.ar/educación/cuaderno](http://www.porquebiotecnología.com.ar/educación/cuaderno).**

La ingeniería genética ha creado varios linajes celulares y han resultado más exitosos los cultivos celulares de simio y de hámster, debido a que el medio donde se desarrollan no exige muchas necesidades y las células se multiplican con facilidad.

Existen diversas técnicas para introducir genes extraños a las células animales entre los que destacan: la microinyección directa, utilizando micropipetas para introducir el ADN ajeno, por electroporación, la utilización de YAC y la de otros vectores. Generalmente el gen extraño dentro del huésped se integra a su genoma sin problemas.

Para formar animales transgénicos es necesario transferir el gen extraño a óvulos fecundados, para asegurar que todas las células que integran al animal posean dicho gen. (Fig. 6.13.)



**Fig. 6.13. Ratones transgénicos. En 1983 un grupo de investigadores, insertaron en el genoma de ratón el gen que produce la hormona del crecimiento humano, logrando la creación de animales gigantes. Tomado de [www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg](http://www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg).**

La ingeniería genética se aplica en amplios sectores como: la medicina, el agroquímico, la industria alimentaria e incluso en el medio ambiente. La producción masiva de proteínas como antibióticos, insulinas, la hormona del crecimiento o la vacuna contra la hepatitis B, han permitido que estas moléculas sean más accesibles a la población y corra menos riesgos.

Existen algunos riesgos que es necesario analizar y valorar en su justa dimensión, los beneficios y daños que acarrear el consumir organismos genéticamente modificados, por ejemplo, el forraje para animales que serán para consumo humano, por lo que es conveniente establecer los daños a la salud que pueden ocasionar. La liberación de plantas transgénicas al medio ambiente que pueden desplazar a las nativas ocasionando daños importantes.

## Clonación

Los primeros experimentos para clonar animales a través de la técnica de transferencia de núcleos, la realizó John B. Gurdon, en la década de los años 70's del siglo XX, trabajo con ranas en las que observó, que el número de embriones que llegaban al estadio de renacuajo era más bajo, si las células donantes del núcleo procedían de organismos adultos.

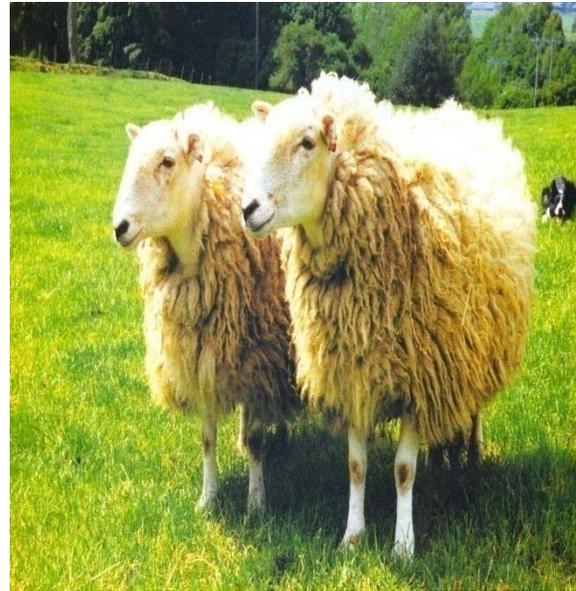
### Megan y Morag

En 1995 un equipo de investigadores del Instituto Roslin cerca de Edimburgo, dio a conocer los resultados obtenidos en la primera clonación de mamíferos por transferencia nuclear. Las ovejas Megan y Morag fueron los primeros mamíferos gestados sin la participación de un óvulo y un espermatozoide en el proceso de fecundación y obtenidos por ésta técnica. Su material genético procedía de células extraídas de un embrión de nueve días. Estos animales eran genéticamente idénticos ya que eran clones del mismo embrión. (Fig. 6.14.)

La clonación de animales a partir de la técnica de transferencia nuclear requiere la participación de dos células distintas, la **célula donante** y la **célula receptora**.

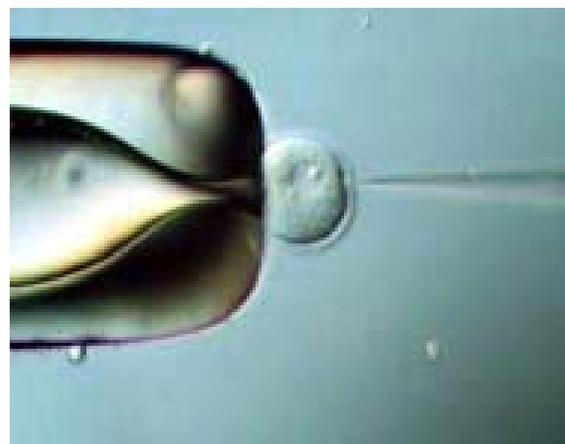
La célula donante, es la que se va a clonar, debido a que ella va a aportar el material genético (célula de embrión de nueve días). La célula receptora debe ser un óvulo recién liberado y sin fecundar, condición necesaria para que la célula pueda desarrollarse inmediatamente después de recibir el estímulo apropiado.

**El primer paso** de la técnica, es la extracción con una micropipeta del núcleo con los cromosomas de la célula receptora (ovulo recién liberado). Fig. (6.15.)



**Fig. 6. 14. Megan y Morag. Fueron los primeros mamíferos clonados obtenidos por la técnica de transferencia nuclear. Tomado de Investigación y ciencia, No. 269.**

**El segundo paso** es fusionar a la célula receptora (óvulo sin núcleo) con el núcleo de la célula donante, la fusión celular posee sólo el material genético de la célula donante.



**Fig. 6.15. Extracción del núcleo con los cromosomas de la célula receptora con una micropipeta. Tomado de [www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg](http://www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg).**

El tercer paso es implantar en el útero de una madre de alquiler, la célula que comienza a desarrollarse.

La producción de clones por transferencia nuclear requiere la participación de tres organismos, la oveja que proporciona el

material genético, la oveja que aporta el óvulo y la oveja de alquiler, también denominada subrogada, que es la que presta el útero donde se desarrolla el embrión, de esta forma se obtuvieron a las ovejas Megan y Morag. (Fig. 6.16)

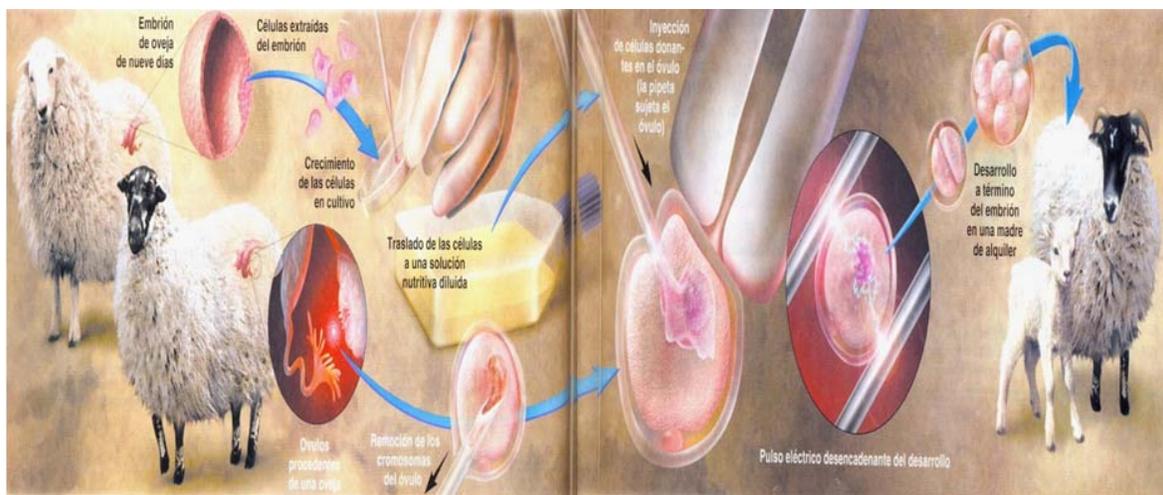


Fig. 6.16. La clonación de mamíferos a través de la transferencia nuclear. La obtención de mamíferos genéticamente idéntico, utilizando células de embriones abrió el campo de la clonación de animales con Megan y Morag que fueron clonados con esta técnica. Tomado de Investigación y Ciencia, No. 269.

### La oveja Dolly

Transcurrieron tan sólo dos años para que los investigadores del Instituto Roslin, sorprendieran otra vez al mundo con sus nuevos logros en el campo de la clonación en mamíferos por transferencia nuclear. En esta ocasión se trataba de una oveja obtenida de células de un organismo adulto llamada **Dolly**, la noticia fue difundida por todos los medios de comunicación, despertando la atención internacional, sobretodo por que vislumbraba la posibilidad teórica de la clonación de humanos, provocando una gran polémica sobre las consecuencias de tales experimentos.

Para este experimento se necesitó la participación de tres animales, una oveja que aportó células de la glándula mamaria, que es la que se sometió a clonación, otra que donó un óvulo sin fecundar, al cual se le extrajo el núcleo y que fungió como célula receptora y finalmente la madre subrogada, donde se implanto el embrión. Dolly sin lugar a duda era un organismo clónico de la oveja que donó la célula de glándula mamaria, los análisis genéticos determinaron que ambos organismos eran idénticos. Fig. (6.17.)



**Fig. 6.17. Dolly y su cría Bonnie, este cordero fue producto de un apareamiento y gestación normal. Tomado de Investigación y Ciencia No. 269.**

### **La clonación y la tecnología del ADN recombinante**

La obtención de las ovejas clónicas Megan, Morag y Dolly entre otros muchos experimentos realizados con otros animales a finales del siglo XX, permitió el desarrollo de nuevos métodos de bioingeniería genética para la formación de organismos a partir de cultivos celulares, aportando numerosos beneficios prácticos para la mejora en varios sectores productivos como: la ganadera, la industria farmacéutica y la medicina, además ayudo a comprender y resolver algunos problemas fundamentales de la biología.

El siguiente adelanto científico fue la clonación de mamíferos transgénicos, capaces de producir proteínas humanas de importancia clínica. Los trabajos de clonación de organismos transgénicos se inició con el tratamiento de cultivos celulares de animales con sustancias

químicas, que inducían a las células a permitir el transporte hacia el interior de genes humanos y su posterior incorporación al genoma y estas células fueron utilizadas como donantes en la técnica de transferencia nuclear.

El empleo de sustancias químicas ayudó a la ingeniería genética, a facilitar la transformación de células animales al incorporar con métodos más sencillos el material genético extraño.

De esta forma se incorporo a células de glándula mamarias de oveja, el gen del factor IX humano que expresa la producción de la proteína de la coagulación sanguínea, empleada en el tratamiento de la hemofilia B. Las células que incorporaron a su genoma el gen humano fueron cultivadas y sólo las que potencialmente podían desarrollar un embrión fueron implantadas en el útero de una madre subrogada, así se obtuvo a Polly, la primera oveja clónica transgénica que segregaba proteínas humanas en la leche. (Figs. 6.18. y 6.19)



**Fig. 6.18. Polly y su madre “de alquiler”. Polly es una oveja transgénica portadora de un gen humano. La madre que donó el núcleo, es una oveja de lana Dorset y la madre subrogada (en la foto) es una oveja carinegra escocesa. Tomado de Investigación y Ciencia No. 269.**



**Fig. 6.19.** La técnica para clonar mamíferos a partir de células transgénicas en cultivo, fue un logro obtenido en 1997 por el equipo de investigadores ingleses del Instituto Roslin. El gen del factor IX de la coagulación sanguínea humana fue insertado en células mamarias de oveja, como se observa en Polly, la oveja clónica transgénica. Tomado de Investigación y Ciencia, No. 269.

La ingeniería genética ha puesto a disposición de la humanidad una gran variedad de productos biológicos, necesarios para satisfacer necesidades elementales o para mejorar la salud. No se puede negar que la producción masiva de proteínas por modificación del ADN permitió disponer de ellas a un menor costo, algunos ejemplos son la hormona del crecimiento humano, la insulina y la vacuna contra la hepatitis B, entre otros.

La tecnología del ADN recombinante se emplea en el mejoramiento de especies animales y vegetales, al introducir genes extraños a sus genomas, para dotarlos de mejores o nuevas propiedades. Estas modificaciones genéticas promueven una mayor producción de ciertas sustancias y elevan su calidad, por ejemplo se producen frutos más jugosos y de mejor sabor, plantas con mayor concentración de proteínas o de otros

nutrimentos, e incluso se han producido plantas que sintetizan sus propios insecticidas para protegerse de ataques de insectos u otros depredadores. (Fig. 6.20.)

En el campo de la clonación de animales, se ha avanzado y se han producido clónicos transgénicos capaces de producir proteínas humanas. Con respecto a la clonación de seres humanos, se está aun lejos de conseguirlo, pero no es el fin que persigue la ingeniería genética.

En la actualidad en muchos países desarrollados, se está trabajando en la clonación de órganos humanos a partir de cultivos celulares del mismo paciente, con logros importantes en la formación de implantes como orejas, narices, piezas dentales, etc. pero se ha dificultado la creación de órganos como hígado o corazón por el alto grado de

complejidad y especialización de las diferentes células que los integran.



**Fig. 6.20** La tecnología del ADN recombinante ha puesto a disposición de la humanidad una amplia variedad de proteínas, para cubrir las necesidades elementales y para solucionar problemas de salud. Tomado de [www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg](http://www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg).

Posiblemente a través de la terapia génica, algún día, no muy lejano, se encuentre la cura a muchas enfermedades hoy incurables.

Muchos de los países desarrollados invierten cantidades importantes en proyectos de investigación científica y tecnológica, beneficiándose de las enormes ganancias que genera la producción masiva de sustancias biológicas de interés alimenticio, farmacéutico, industrial, etc., aprovechando las diferentes oportunidades que les brinda la biotecnología.

Es necesario reflexionar profundamente sobre los beneficios y daños que ocasionan la introducción de organismos transgénicos a los ecosistemas, la utilización de los mismos como alimento humano y la experimentación en la clonación de seres humanos, para valorarlos en su justa dimensión.

# Actividades de Aprendizaje

## Organismos Transgénicos

**Instrucciones:** Da el nombre de 10 animales y 10 plantas transgénicos, e investiga el nombre del gen extraño que portan y el producto o mejora que expresan y escríbelo en la columna que le corresponda a cada ejemplar.

<b>Plantas</b>	<b>Animales</b>

## Sugerencias de actividades de aprendizaje

Leer, analizar y discutir los siguientes artículos:

- ✓ La Ingeniería Genética, Mater D .y Truffaut N., Mundo Científico No. 225, 2001 pág. 78 – 81.
- ✓ Antes y después de Dolly, Alagón, A; ¿Cómo vez? N° 1, pág. 26-29.
- ✓ Las plantas transgénicas, Padilla, J; ¿Cómo vez? N° 7, pág. 8-10.
- ✓ Maíz transgénico, Bunge, V; ¿Cómo vez? N° 12, pág. 8-10.
- ✓ Genoma humano, Calva, E; ¿Cómo vez? N° 37, pág. 13-15.
- ✓ Sobre cerdos y maíz transgénico, López Munguía, A; ¿Cómo vez? N° 50, pág. 22-25.
- ✓ Medicina genómica, como interpretar el libro de la vida, Guerrero, V; ¿Cómo vez? N° 92 pág. 10-13.

### Otras Actividades a Realizar

- ✓ Realizar las actividades de aprendizaje de este capítulo.
- ✓ Visitar el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UNAM, para informarse de los trabajos que se realizan en México.
- ✓ Buscar en la red más información sobre este tema.
- ✓ Reflexionar sobre los beneficios y problemas que acarrea la

manipulación genética de los seres vivos.

## Actividades de Evaluación

### Cuestionario

Escoge de la lista de respuestas el inciso correcto para cada pregunta y escríbelo en el paréntesis que le corresponda.

1. Al conjunto de técnicas útiles para modificar el material genético de células vivas, con el propósito de dotarlas de nuevas o mejores propiedades se les llama ( )
2. Las proteínas con actividad catalítica para cortar moléculas de ADN en sitios específicos reciben el nombre de ( )
3. Los tipo de enzimas que participan en la unión de fragmentos de ADN son ( )
4. La molécula de ADN extracromosómico, con forma circular, común en bacterias se llaman ( )
5. ¿Cómo se llama a los vectores de clonación que se producen de forma artificial a partir de fragmentos de plásmidos y material genético de bacteriófagos? ( )
6. ¿Cuál es la bacteria más usada en la tecnología del ADN recombinante? ( )
7. ¿Cuál es el nombre del plásmido presente en las levaduras? ( )

8. ¿En qué organismos se implanto el gen del antígeno HBsAg? ( )
9. ¿Con qué nombre se reconoce al plásmido de *Agrobacterium tumifaciens*? ( )
10. ¿Cuáles son las siglas con las que se reconocen a los cromosomas artificiales de levadura? ( )
11. ¿Qué nombre le dieron a la primera oveja clónica, producto de un organismo adulto? ( )
12. ¿Qué Nombre recibe la técnica en la que se aplican breves descargas eléctricas a las células receptoras, para que permitan el paso hacia el interior, de vectores de clonación con genes extraños? ( )
13. ¿En qué parte del bacteriófago lambda se localiza el material hereditario? ( )
14. ¿Qué proteína se sintetiza a partir de la expresión del gen del factor IX humano? ( )
15. ¿Cómo se llamó la primera oveja clónica y transgénica? ( )

### Lista de Respuestas

- a) Cápside.
- b) Ingeniería genética.
- c) YAC.
- d) Ligasas
- e) *Escherichia. coli*.
- f) Plásmido 2μ.
- g) Electroporación.
- h) Polly.
- i) Enzimas de restricción.
- j) Plásmido.
- k) *Saccharomyces cerevisiae*
- l) Plásmido Ti.

- m) Proteínas de coagulación sanguínea.
- n) Cósmodos
- o) Dolly

### Glosario

- **Alfanumérico:** Perteneciente a un conjunto de caracteres que incluye letras, números y usualmente, otros signos y caracteres de puntuación.
- **Antígeno:** Molécula, generalmente una proteína de superficie celular, que puede inducir la formación de anticuerpos.
- **Bacteriófago:** Virus que infecta a una bacteria; su sinónimo es fago.
- **Biología:** Procesos comerciales y/o industriales que utilizan organismos o productos biológicos.
- **Cartografía:** (del griego chartis- mapa y graphein- escrito) es la ciencia que se encarga del estudio y la elaboración de mapas. Por extensión, también se denomina cartografía a un conjunto de documentos referidos a un ámbito concreto de estudio.
- **Catabolismo:** Reacción metabólica en las que las moléculas complejas se rompen en formas más simples, acompañada a menudo por liberación de energía.
- **Cepa:** Grupo de individuos con antecesoros comunes que tienen características fisiológicas y morfológicas de interés para el estudio genético o para la mejora.
- **Clon:** Células u organismos genéticamente idénticos provenientes de un solo ancestro de reproducción asexual o por métodos asexuales.
- **Cósmido:** Vector diseñado para permitir la clonación de segmentos largos de ADN foráneo. Los cósmidos

- son híbridos formados por sitios *cos* del fago lambda insertados en un plásmido.
- **Cromosoma:** En procariontes, formados sólo por una molécula circular de ADN. En eucariotes estructuras complejas formadas principalmente por ADN y proteínas.
  - **Especie:** Grupo de individuos que comparten características morfológicas y fisiológicas, capaces de reproducirse entre sí y que su descendencia es fértil.
  - **Eucariota:** Organismos que tienen núcleo y organelos membranosos.
  - **Gen:** Unidad física fundamental de la herencia cuya existencia se puede confirmar por variantes alélicas y que ocupa un locus concreto en un cromosoma.
  - **Genoma:** Conjunto de genes que lleva un organismo.
  - **Hemofilia:** Carácter ligado al cromosoma sexual X en la especie humana, asociado con mecanismos defectuosos de coagulación sanguínea.
  - **Híbrido:** Individuo producido por el cruce de dos padres con genotipos diferentes.
  - **Ingeniería Genética:** Técnica de alteración de la constitución genética de células o de individuos mediante la eliminación, la inserción o la modificación selectiva de genes individuales o de grupos de genes.
  - **Linaje:** Es la línea de ascendencia o descendencia o serie de ascendientes y descendientes, en cualquier familia o de una persona considerada como primer progenitor o tronco y rama común.
  - **Mapa Cromosómico:** Esquema en el que se representa la localización de los genes en los cromosomas.
  - **Micra o micrómetro:** Unidad de longitud igual a una millonésima de metro.
  - **Molde:** Molécula de ADN o de ARN de cadena sencilla que especifica la secuencia nucleotídica de una cadena sintetizada por una enzima polimerasa.
  - **Nucleoide:** Región que contiene el ADN en el citoplasma de las células procariontes.
  - **Organismo Transgénico:** Organismo cuyo genoma se ha modificado mediante la introducción de secuencias de ADN externo en la línea germinal.
  - **Plásmido:** Molécula de ADN circular, extracromosómica, que a menudo lleva información genética, que se replica independientemente del cromosoma huésped.
  - **Polimerasas:** Enzimas que catalizan la formación de ADN y ARN a partir de desoxirribonucleótidos y ribonucleótidos, respectivamente.
  - **Prión:** Agente patógeno infeccioso desprovisto de ácidos nucleicos y formado principalmente por una proteína.
  - **Procariontes:** Células que carecen de membrana nuclear y organelos membranosos.
  - **Replicación:** Proceso de síntesis de ADN.
  - **Subrogar:** Acción de poner a un organismo en un lugar o situación de otro.
  - **Vector de Expresión:** Plásmido o fago que contienen regiones promotoras diseñadas para que las secuencias de ADN clonadas se expresen.
  - **YAC:** Vector de clonación en forma de cromosoma artificial de levadura.

## Bibliografía:

- **Casado M.**, *Biotecnología y el Debate Social*; **Mundo Científico**; No. 243, pág. 48 – 53.
- **Davis J.**, *La Ingeniería Genética*, **Mundo Científico**, No. 71, pág. 704-713.
- **Jiménez L. F.; Merchant H.**; *Biología Celular y Molecular*, ed. Pearson, México, 2003, págs. 823-833.
- **Klug W.; Cumming M. R.**, *Genética*, 5ta edición, ed. Prentice Hall, España, 2001, pág. 453 – 515.
- **Lao B. J; González M. L.**, *rTPA y Biotecnología, Nuevos Logros*, **Mundo Científico**, No. 71, pág. 736 – 739.
- **Mater D.; Truffaut N.**; *La Ingeniería Genética*, **Mundo Científico**, No. 225, pág. 78 – 81.
- **Mikkelsen T., Hauser R.**, *La Huida de los Genes*, **Mundo Científico**, No. 178, pág. 323 – 325.
- **O’Brochta D., Atkinson P.**, *Ingeniería Genética contra las Plagas de Insectos*, **Investigación y Ciencia**, No. 269. pág. 64 – 69.
- **Solomon E. Berg L. Martin D.**, *Biología*, 5ta edición, McGraw Hill Interamericana, México, 2001. pág. 307 -322.
- **Wilmot I.**, *Clonación con Fines Médicos*, **Investigación y Ciencia**, No. 269, pág. 24 – 29.

- [www.redfrontettransgenicos.net/actuales/fo tos/ADNchain.jpg](http://www.redfrontettransgenicos.net/actuales/fo tos/ADNchain.jpg).
- [www.biotech.bioetica.org/imagenes/wpeDu .gif](http://www.biotech.bioetica.org/imagenes/wpeDu .gif).
- <http://unne.edu.ar/biologia/imagenes/Plas midos.jpg>.
- [www.prof.uniandes.edu.co/infquimi/VI.feri a/imagenes](http://www.prof.uniandes.edu.co/infquimi/VI.feri a/imagenes)
- [www.wisensechaft-online.de/sixcms/media Php/e\\_coli](http://www.wisensechaft-online.de/sixcms/media Php/e_coli).
- [www.foodnews.ch/x-plainmefood/40- sicherheit/images](http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/40- sicherheit/images).
- [www.xtec.es/fcarrasc/transgenicos.htm](http://www.xtec.es/fcarrasc/transgenicos.htm)
- [www.porquebiotecnología.com.ar/educació n/cuaderno](http://www.porquebiotecnología.com.ar/educació n/cuaderno).
- [www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg](http://www.cnb.uam.es/transimp/oocit.jpg)

## Hoja de Respuestas

### Cuestionario:

1. (b)
2. (i)
3. (d)
4. (j)
5. (n)
6. (e)
7. (f)
8. (k)
9. (l)
10. (c)
11. (o)
12. (g)
13. (a)
14. (m)
15. (h)