



# **FUNDAMENTOS DE BIOLOGÍA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Carlos Bustamante Corzo**  
**Profesor Titular U.F.P.S.**

[carbuco1@hotmail.com](mailto:carbuco1@hotmail.com)

ISBN: 978-958-8489-38-4

2014-03-26

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**  
**San José de Cúcuta**  
**2014**





# FUNDAMENTOS DE BIOLOGÍA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL



*Los Estoraques. La Playa*



*Resplandores del Catatumbo*

Carlos Bustamante Cozo



*Laguna Sisavita. Cucutilla (N.D.S.)*



*Cúcuta. Ciudad verde*



EL EL FUTURO DE TODOS



## PRÓLOGO

La Biología es la ciencia que estudia los seres vivos, especialmente su origen, evolución y características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento tanto de forma individual como en comunidad. Igualmente trata sobre la reproducción de los seres vivos, la forma como se transmiten sus características, y la interacción entre ellos y el entorno en que actúan.

La Biología ayuda a comprender como tratar con la naturaleza para que los humanos logren un equilibrio con el entorno, objetivo de la ingeniería ambiental.

Con base en las anteriores consideraciones, el conocimiento de esta disciplina biológica permitirá a los estudiantes la comprensión de los procesos ambientales que se presentan cotidianamente en el planeta y su influencia en el ser humano.

La presente obra está destinada especialmente a los estudiantes de la asignatura Biología, que se cursa en el primer semestre del programa académico de Ingeniería Ambiental de la UFPS-Cúcuta. Dicha asignatura tiene una intensidad horaria semanal de dos (2) horas teoría y dos (2) de práctica



## TABLA DE CONTENIDO

<b>UNIDAD 1. CONCEPTOS BÁSICOS DE BIOLOGÍA.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCION.....	1
1.1. CIENCIA Y BIOLOGÍA.....	1
1.2. MÉTODO CIENTÍFICO.....	3
1.2.1. OBSERVACIÓN.....	4
1.2.2. RAZONAMIENTO E INTERPRETACIÓN.....	6
1.2.3. HIPÓTESIS Y PREDICCIÓN.....	6
1.2.4. EXPERIMENTACIÓN.....	7
1.2.5. CONVERSIÓN DE HIPÓTESIS EN TEORÍA.....	11
1.3. RELACIONES DE LA BIOLOGÍA CON OTRA CIENCIAS. ....	12
1.4. APLICACIONES DE LA BIOLOGÍA.....	12
1.5. FUENTES DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA.....	13
BIBLIOGRAFÍA.....	17
<b>UNIDAD 2. CARACTERIZACION DE LOS SERES VIVOS.....</b>	<b>31</b>
INTRODUCCION.....	18
2.1 RASGOS RELEVANTES DE LOS SERES VIVOS. ....	18
2.1.1. ORGANIZACIÓN ESPECIFICA.....	19
2.1.2. CRECIMIENTO, DIFERENCIACIÓN Y DESARROLLO.....	19
2.1.3. ENERGÍA Y METABOLISMO.....	22
2.1.4. MOVIMIENTO.....	24
2.1.5. IRRITABILIDAD Y HOMEOSTASIS.....	24
2.1.6. REPRODUCCIÓN.....	26
2.1.7. ADAPTACIÓN.....	28
2.2. NIVELES DE ORGANIZACIÓN.....	31
2.2.1. ORGANIZACIÓN QUIMICA.....	31
2.2.2. ORGANIZACIÓN CELULAR.....	32
2.2.3. ORGANIZACIÓN ECOLÓGICA.....	36
2.3. CLASIFICACION DE LOS SERES VIVOS.....	36
2.3.1. CATEGORIAS TAXONÓMICAS.....	37

2.3.2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN.....	39
2.3.4. CLASIFICACIÓN DE WOOSE.....	40
2.4. SISTEMA DE NOMENCLATURA BINOMIAL.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	48
<b>UNIDAD 3. VISIÓN GLOBAL DE LA CÉLULA.....</b>	<b>49</b>
INTRODUCCIÓN.....	49
3.1. CÉLULAS PROCARIOTAS Y EUCARIOTAS.....	50
3.2. TIPOS DE CÉLULAS PROCARIOTAS.....	54
3.3. TIPOS DE CÉLULAS EUCARIOTAS.....	55
3.4. ORGANISMOS MODELO.....	57
3.5. VIRUS.....	59
3.6. FUNCIONES DE LA CÉLULA.....	61
3.7. TAMAÑO Y FORMA DE LAS CÉLULAS.....	62
3.8. PARTES DE LA CÉLULA EUCARIOTA.....	63
3.8.1. MEMBRANA CELULAR.....	65
3.8.2. CITOPLASMA.....	72
3.8.3. NUCLEO.....	73
3.8.4. SISTEMA ENDOMEMBRANOSO.....	81
3.8.5. ORGANELOS TRANSDUCTORES DE ENERGÍA.....	92
3.8.6. CITOESQUELETO.....	98
3.8.7. UNIONES CELULARES Y COMUNICACIÓN.....	107
3.9. ENTORNO EXTRACELULAR.....	114
3.10. SISTEMAS DE TRANSPORTE CELULAR.....	121
3.10.1. DIFUSIÓN SIMPLE.....	121
3.10.2. DIFUSIÓN FACILITADA O TRANSPORTE MEDIADO POR PROTEÍNAS.....	126
3.10.3. TRANSPORTE MASIVO.....	130
BIBLIOGRAFÍA.....	137
<b>UNIDAD 4. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LAS BIOMOLÉCULAS.....</b>	<b>141</b>
INTRODUCCIÓN.....	141
4.1. ESTRUCTURA MOLECULAR.....	141
4.1.1. GRUPOS FUNCIONALES. ISÓMEROS.....	142
4.2. EL AGUA: MOLÉCULA VITAL.....	144

4.2.1. PROPIEDADES DEL AGUA.....	145
4.3. CLASES DE BIOMOLÉCULAS SEGÚN SU FUNCIÓN.....	150
4.3.1. REACCIONES QUÍMICAS PREDOMINANTES.....	151
4.4. CARBOHIDRATOS.....	153
4.4.1. MONOSACÁRIDOS.....	153
4.2.2. DISACÁRIDOS.....	154
4.4.3. OLIGOSACÁRIDOS.....	155
4.4.3. POLISACÁRIDOS.....	155
4.5. LÍPIDOS.....	159
4.5.1. ACIL-GLICÉRIDOS O ACIL-GLICEROLES.....	160
4.5.2. FOSFOLÍPIDOS.....	164
4.5.3. ESTEROIDES.....	165
4.5.4. CERAS.....	168
4.6. PROTEÍNAS.....	169
4.6.1. AMINOÁCIDOS.....	169
4.6.2. POLIPEPTIDOS.....	171
4.6.3. ESTRUCTURA NATIVA DE LAS PROTEÍNAS.....	171
4.7. ÁCIDOS NUCLÉICOS.....	175
4.7.1. NUCLEÓTIDOS.....	176
4.7.2. ADN.....	178
4.7.3. ARN.....	181
BIBLIOGRAFIA.....	184
<b>UNIDAD 5. BIOENERGÉTICA Y PROCESOS METABÓLICOS.....</b>	<b>186</b>
INTRODUCCION.....	189
5.1. CONCEPTO Y FORMAS DE ENERGÍA.....	187
5.2. TERMODINÁMICA Y SUS LEYES.....	188
5.2.1. PRIMERA LEY. CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.....	191
5.2.2. SEGUNDA LEY. ENTROPÍA.....	191
5.2.3. ENERGÍA LIBRE.....	194
5.2.4. REACCIONES EXERGÓNICAS Y ENDERGÓNICAS.....	196
5.2.5. REACCIONES ENDOTERMICAS Y EXOTERMICAS.....	196
5.3. CATALIZADORES Y ENZIMAS.....	198



5.3.1. DENOMINACIÓN.....	202
5.3.2. MODELOS DE ACCIÓN ENZIMÁTICA.....	204
5.3.3. REGULACIÓN DE ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.....	205
5.3.4. LAS ENZIMAS EN LA INDUSTRIA.....	207
5.4. METABOLISMO Y VIAS METABÓLICAS.....	208
5.4.1. VIAS CATABÓLICAS.....	209
5.4.2. VIAS ANABÓLICAS.....	210
5.5. FLUJO DE ENERGÍA EN LOS SERES VIVOS.....	211
5.6. FOTOSÍNTESIS.....	211
5.6.1. REACCIONES FOTODEPENDIENTES.....	212
5.6.2. REACCIONES FOTOINDEPENDIENTES.....	214
5.7. RESPIRACIÓN.....	217
5.7.1. RESPIRACIÓN OXIGÉNICA.....	219
5.7.2. FERMENTACIÓN.....	228
5.8. TRABAJO BIOLÓGICO.....	235
BIBLIOGRAFIA.....	239
<b>UNIDAD 6. REPRODUCCIÓN.....</b>	<b>241</b>
INTRODUCCION.....	241
6.1. MECANISMOS DE DIVISIÓN CELULAR.....	241
6.1.1. ESTRUCTURA DE LOS CROMOSOMAS.....	242
6.2. CICLO CELULAR EUCARIOTA.....	245
6.3. MITOSIS.....	250
6.4. MEIOSIS.....	253
6.5. FECUNDACIÓN.....	257
6.6. TOTIPOTENCIALIDAD CELULAR Y CÉLULAS MADRE.....	258
6.7. APOPTOSIS.....	265
6.8. CICLO DE VIDA.....	267
6.9. REPRODUCCIÓN ASEXUAL.....	269
6.9.1 FISIÓN.....	269
6.9.2. GEMACIÓN.....	270
6.9.3. ESPORULACIÓN.....	270
6.9.4. FRAGMENTACIÓN O REGENERACIÓN.....	272

6.9.5. CLONACIÓN.....	274
6.10 REPRODUCCIÓN SEXUAL.....	275
6.10.1 GAMETOGÉNESIS EN HUMANOS.....	276
6.11. SEXUALIDAD.....	280
6.12. APARATO REPRODUCTOR DEL HOMBRE.....	283
6.13. APARATO REPRODUCTOR DE LA MUJER.....	288
6.14. COPULACIÓN Y FECUNDACIÓN HUMANA.....	295
6.15. HERMAFRODITISMO.....	299
6.16. VARIANTES DE LA REPRODUCCIÓN.....	301
6.16.1. METAGÉNESIS.....	301
6.16.2. PARTENOGENESIS.....	302
6.16.3. POLIEMBRIÓNIA.....	304
BIBLIOGRAFIA.....	307
<b>UNIDAD 7. PRINCIPIOS DE GENÉTICA.....</b>	<b>311</b>
INTRODUCCIÓN.....	311
7.1. ANTECEDENTE HISTÓRICOS.....	311
7.2. HERENCIA MENDELIANA.....	313
7.3. CRUCE MONOHIBRIDO.....	316
7.4. LOS PRINCIPIOS DE MENDEL.....	318
7.5. SIMBOLISMO Y TERMINOLOGÍA GENÉTICA ACTUAL.....	320
7.6. CRUCE DIHIBRIDO.....	323
7.7. GENOTIPO Y AMBIENTE.....	326
7.7.1. LA NUTRICIÓN Y SUS EFECTOS.....	298
7.8. HERENCIA CROMOSÓMICA.....	327
7.8.1. DETERMINACIÓN DEL SEXO EN HUMANOS.....	328
7.9. RELACIONES ENTRE PROTEÍNAS Y GENES.....	331
7.10. BASES DE LA INGENIERÍA GENÉTICA.....	333
7.11. AMPLIFICACIÓN DEL ADN POR PCR.....	336
7.12. ORIGEN DE LA VIDA.....	339
7.12.1. CREACIONISMO.....	340
7.12.2. GENERACIÓN ESPONTANEA.....	341
7.12.3. ORIGEN CÓSMICO DE LA VIDA.....	342

7.12.4. EVOLUCIÓN QUÍMICA Y CELULAR.....	242
7.12.5. ANÁLISIS CRÍTICO.....	345
BIBLIOGRAFIA.....	346
<b>UNIDAD 8. AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.....</b>	<b>348</b>
INTRODUCCIÓN.....	348
8.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	349
8.2. ECOSISTEMAS.....	350
8.2.1. CADENAS TRÓFICAS.....	351
8.3. FUENTES DE ENERGÍA ACTUALES.....	355
8.3.1. ENERGÍA NO RENOVABLE Y RENOVABLE.....	356
8.3.2. RECURSOS ENERGÉTICOS NO RENOVABLES.....	357
8.3.3. RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES.....	365
8.4. CAMBIOS CLIMÁTICOS.....	380
8.5. IMPACTO AMBIENTAL.....	382
8.6. ALTERACIONES DEL AMBIENTE.....	387
8.7. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	389
8.7.1. RESIDUOS SÓLIDOS.....	391
8.7.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	392
8.7.3. AGUAS RESIDUALES.....	395
8.7.4. CONTAMINACIÓN POR PETROLEO.....	396
8.8. DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA.....	399
8.9. OPERACIÓN SALÚD.....	401
BIBLIOGRAFIA.....	



## **UNIDAD 1.**

## **CONCEPTOS BÁSICOS DE BIOLOGÍA**



---

### **INTRODUCCIÓN**

Durante un paseo campestre, un grupo de estudiantes al internarse en una finca provista de una densa vegetación se encontrará con variadas especies vivientes.

Inicialmente observarán numerosas plantas vivas, tales como pastos, hierbas, arbustos y plantas con flores. En seguida notarán la impresionante altura y consistencia de los árboles. Pero la visión será mayor al observar hojas y ramas caídas que cubren el suelo, en el cual se encuentran numerosas formas de vida animal. Hay multitud de insectos, tales como hormigas que se desplazan con rapidez transportando alimento entre sus tenazas. Verán gusanos, ciempiés y arañas. Abundan otros representantes del reino animal. Los pájaros cantan y una ardilla se descuelga de un árbol que alberga una colmena de abejas. Una mariposa se posa sobre el tronco de un árbol y debido a que su color es casi el mismo de la corteza resultará menos visible a sus enemigos.

Todas las anteriores formas vivientes solo constituyen una parte de la **comunidad**

o grupo de seres vivos que viven de un modo natural en una determinada área. Sin embargo, existen incontables estructuras vivientes microscópicas que habitan en el suelo, en los charcos o en el interior de otras plantas y animales. Si se toma una muestra del suelo y se observa a través del microscopio se puede encontrar gran cantidad de organismos muy pequeños (microorganismos) tales como bacterias, hongos y gusanos diminutos.

Con frecuencia junto al sitio en que se habita existe una quebrada o un manantial o la tierra está seca y erosionada. Cada tipo de comunidad tiene sus seres vivientes característicos. Resulta evidente que las estructuras vivientes no se encuentran aisladas sino que forman comunidades.

## **1.1 CIENCIA Y BIOLOGIA**

El estudio de los seres vivos y la avanzada organización que los caracteriza, tanto en lo individual como en relación con el entorno es el tema central de la **BIOLOGÍA** como ciencia. Sin embargo, el concepto de ciencia es tan amplio y abarca tantas definiciones como interpretaciones se pueden dar del universo.

Se exponen algunos conceptos. El diccionario Larousse define ciencia como el “conocimiento exacto y razonado de ciertas cosas”.

Para Oram et al. la ciencia “es un cuerpo de conocimientos organizado acerca de la naturaleza”. Si un científico es una persona que domina alguna ciencia, se pregunta ¿es científico el biólogo, el matemático, el astrónomo, el sacerdote, el abogado? Es muy difícil establecer un criterio universal al respecto.

Las ciencias naturales como la Biología, la Química, la Física se basan en una interpretación del mundo físico y su entorno. Otras interpretaciones del mundo se hacen mediante la Filosofía, la Religión o el Arte. No obstante, la ciencia difiere de las anteriores interpretaciones en que limita su búsqueda al universo físico. En esta guía de estudio se adopta el concepto de ciencia expresado por Mario Bunge en el libro “La ciencia, su método y su filosofía” y que dice así: ciencia es el conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente fiable.

La materia prima de la ciencia son las observaciones de los fenómenos del

universo natural. La ciencia se limita a lo que puede observarse y medirse y en este sentido, se la clasifica acertadamente como de materialista. Es por esta razón que los científicos resaltan y enfatizan la objetividad de sus estudios. En la Filosofía, la Religión y las Artes, el énfasis está en la subjetividad, que es la experiencia filtrada a través de la conciencia del individuo. Si se considera el énfasis en la objetividad, los juicios de valor no tienen cabida en la ciencia en la misma forma como lo tienen en la vida cotidiana. Conceptos como la belleza, la bondad, la honradez, no pueden ser determinados por el método científico. Estos juicios, aunque puedan tener firme soporte de la comunidad en general no están sujetos a la comprobación científica.

La ciencia y el conocimiento se forman mediante la observación de la realidad circundante, es decir, el conocimiento siempre ha estado en función del momento histórico y social en que actúa el hombre y en donde es el protagonista de su desarrollo (Baker y Allen, 1990).

Lo antes expuesto permite determinar dos tipos de conocimiento a saber:

**Conocimiento pre-científico o empírico:** (Basado en la experiencia). Es el que se adquiere por los sentidos en el quehacer cotidiano, sin método, a medida que se presentan los hechos en sucesión natural.

El conocimiento empírico es impreciso pero de gran valor, por cuanto constituye la primera etapa del conocimiento científico.

**Conocimiento científico:** Es el saber metódicamente ordenado y coordinado, de tal modo que conduce a la explicación racional de los hechos. Es objetivo, sistemático y planeado.

***“El conocimiento empírico es informativo; el científico es explicativo”***

Siendo tan variadas las formas del conocimiento, la ciencia tiene igualmente diversas formas de expresarse (Nelson *et al*, 1998).

Según Bunge, la ciencia se puede dividir en **ciencia formal** (o ideal) y **fáctica** (o material). La primera hace referencia a la lógica, la filosofía y la matemática, por ocuparse de objetivos ideales aplicando como método la deducción. Para el segundo caso, las ciencias fácticas, se relacionan con la naturaleza, la observación, la investigación donde sus fenómenos se pueden comprobar y demostrar experimentalmente. Ellas comprenden la biología, química y física. El ser humano como ente natural es motivo de estudio de las ciencias fácticas y



como ser social se estudia en las ciencias humanas, a la cual pertenecen la psicología, antropología, sociología, economía, historia y ciencia políticas.

Desde el punto de vista del interés que estimula la búsqueda del conocimiento, las ciencias pueden ser:

**Ciencias puras:** Pretenden enriquecer el conocimiento con nuevos principios, teorías, modelos y leyes para explicar fenómenos naturales Ej: Biología, Química, Física.

**Ciencias aplicadas:** Buscan convertir el conocimiento científico en soluciones prácticas, como metodologías o tecnologías que mejoren o solucionen las necesidades humanas Ej: Medicina, Economía, Astronomía.

Se hace énfasis en que la ciencia debe ser considerada como un conjunto de acciones encaminadas y dirigidas a obtener un conocimiento verificable sobre los hechos que rodean al hombre. La Biología comprende todos los aspectos de la vida, desde la química de los genes hasta la base neuronal de la memoria, o el comportamiento del apareamiento de las aves. La meta u objetivo de la investigación biológica es explicar y clarificar las relaciones que se dan dentro y entre todas las formas de vida. El producto de esta investigación es el conocimiento biológico, el cual lo utiliza la sociedad con el fin de solucionar problemas y satisfacer necesidades (Caullery, 1990).

## 1.2 MÉTODO CIENTÍFICO

El objetivo de la ciencia radica en brindar explicaciones para los fenómenos observados y establecer principios generales que permitan predecir las relaciones entre éstos y otros fenómenos.

Las disciplinas como el arte, la música, la literatura o la filosofía son tan eruditas como la ciencia debido a que todas ellas implican creatividad. El pintor, el literato o el biólogo están interesados en la vida pero cada uno trata al tema en una forma

diferente. **La forma** en la cual la ciencia estudia la naturaleza es la que la hace diferente de otras disciplinas.

Los científicos pueden resolver los problemas de muchas formas. Sin embargo existe un procedimiento basado en el sentido común organizado que se denomina **MÉTODO CIENTÍFICO** y que es reconocido universalmente por la comunidad ilustrada (Dyson, 2004).

No obstante, es difícil reducir este método a un conjunto de reglas que puedan aplicarse a todas las ramas de la ciencia. Se puede considerar el método científico como un conjunto de operaciones ordenadas que buscan entender o interpretar un fenómeno. La metodología científica incluye cuatro actividades básicas a saber:

1. Observación
2. Razonamiento e interpretación
3. Hipótesis y predicción
4. Experimentación.

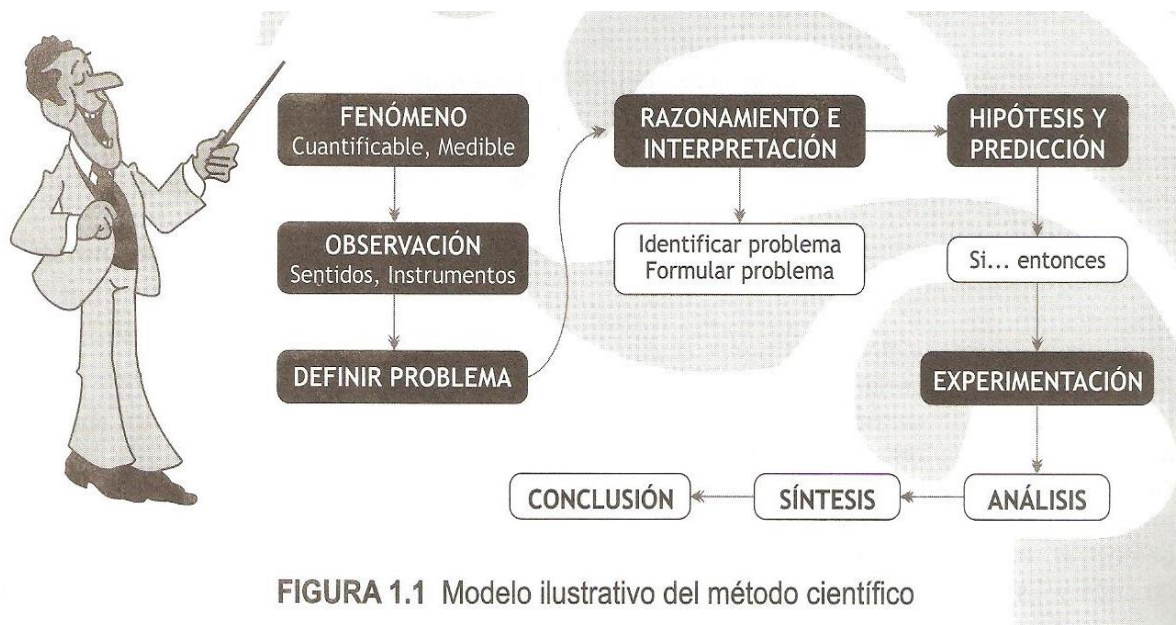
Uno de los postulados básicos del *método científico* es el **rehusar la autoridad**, es decir, no aceptar nunca un hecho por la simple razón que alguien lo afirme. El científico es siempre un escéptico y necesita confirmar sus observaciones por parte de un individuo independiente. La esencia del método científico consiste en el planteamiento de preguntas y la búsqueda de respuestas.

La base del método científico y la fuente última de todos los descubrimientos de la ciencia es la **observación cuidadosa y precisa**, con experimentos lo más libre posible de variantes, con testigos adecuados, lo más cuantitativo posible. Las observaciones y experimentos pueden así analizarse o simplificarse, de modo que pueda introducirse en los fenómenos observados cierto tipo de orden. El pensamiento científico es una manera sistemática de buscar la verdad, una actividad humana ordinaria basada en la racionalidad, la lógica y el escepticismo (Solomon *et al*, 2011; Curtis y Barnes, 2000).

### 1.2.1 Observación

El método científico e incluso toda investigación parte de la simple observación de un fenómeno del mundo real; la observación se hace directamente por medio de los sentidos o con la ayuda de instrumentos.

La **observación cuidadosa** es muy importante para el científico. Sin importar la naturaleza del problema, los científicos deben observar detalladamente todo cuanto puedan acerca del mismo problema. Con frecuencia esto incluye la consulta (o **revisión bibliográfica**) de lo ya conocido acerca del tema o temas relacionados. Las observaciones cuidadosas y confirmadas se transforman en hechos. Un **hecho** es algo acerca de lo que no hay duda, tal como que el limón es agrio.



**FIGURA 1.1** Modelo ilustrativo del método científico

En la ciencia, con frecuencia los hechos son llamados **datos**. Una lista del número de latidos del corazón por minuto constituye un grupo de datos. Los datos, además de ser exactos, deben registrarse por escrito o mediante películas, videos, cintas magnetofónicas u otra forma similar.

Los datos provenientes de las observaciones se comparan entre sí y si se encuentra un patrón común, éste se convierte en un nuevo tópico para otra investigación. Por ejemplo, se observa que numerosos animales domésticos como perros, gatos y caballos tienen pelo y amamantan a sus crías. También puede



observarse como en los últimos 10 años ha aumentado el cáncer del pulmón en humanos. Estas observaciones derivan de un patrón que conduce a las hipótesis.

El científico debe cuidarse de que sus opiniones y sus emociones no influyan en las observaciones que realiza. Una idea u opinión que influye en una observación es una **idea sesgada** porque está parcializada. Por ejemplo, puede que una investigadora le tenga pánico a los ratones; por esta razón, siempre le parecerá agresivo el comportamiento de estos animales. Las “observaciones” de la investigadora respecto a los ratones estarán siempre sesgadas, ya que su prejuicio influye en ellas. Se conoce por otra parte, que el comportamiento de estos roedores es inofensivo para los humanos.

Las observaciones se realizan mediante patrones, los cuales se derivan de observaciones que conducen a definir un problema y plantear su respectiva hipótesis (Oram *et al*, 1983).

**Definir el problema.** Es el punto de partida para producir nuevos conocimientos o completar otros ya existentes. Desde el punto de vista semántico un problema es una dificultad, todavía sin su solución. Formalmente, un problema es un enunciado o fórmula.

Los primeros científicos no fueron capaces de definir claramente los problemas a estudiar y por consiguiente no supieron **cómo** resolverlos. A menudo trataron de explicar los fenómenos antes de observarlos en detalle. Según Oram (1983) los métodos por los cuales se estudia las ciencias son únicos. Un científico es un investigador que debe hacer preguntas, resolver problemas y reunir tales preguntas en una forma significativa y concluyente. Suponer con inteligencia es importante para el científico, pero suponer únicamente no es suficiente. La suposición debe ser apoyada o rechazada por la evidencia.

### 1.2.2 Razonamiento e interpretación

La observación de los hechos o los datos obtenidos carecen de significado si el científico no los relaciona o mantiene unidos mediante la explicación más lógica posible. El razonamiento, la interpretación y el pensamiento lógico son parte clave de las investigaciones de los científicos. Ellos deben ser capaces de interpretar

sus observaciones las cuales no siempre pueden ser correctas. Lo que podría parecer una explicación lógica podrá resultar total o parcialmente incorrecta. Pero el razonamiento y la interpretación lógica son necesarias para obtener la respuesta final a cualquier problema científico (Van Norman, 1998).

Una vez identificado el problema por investigar debe formularse como un problema de conocimiento. Dicha formulación se puede hacer planteando una pregunta que encierra al problema o mediante varias preguntas que destaquen los elementos centrales del problema. Otra manera de formular o definir un problema consiste en elaborar una serie de oraciones que permitan describir de forma precisa el problema. Lo antes mencionado se explica con el siguiente ejemplo:

**Problema identificado:** Las especies del género *Cinchona sp.* se conocen en la medicina tradicional como plantas para controlar el paludismo o malaria.

**Problema formulado:** ¿Cuáles son los principios activos antimaláricos de las plantas medicinales del género *Cinchona*?

### 1.2.3 Hipótesis y predicción

Un científico debe tratar de unir las piezas (partes de la investigación) como si estuviera armando un rompecabezas sin el pleno conocimiento del dibujo final. Si progresa en la comprensión del problema, debe desarrollar **una idea** que haga encajar correctamente las piezas del rompecabezas. Tal idea o suposición se denomina **hipótesis**.

Una hipótesis es una suposición congruente con la cual los datos obtenidos quedan delimitados por un marco conceptual. Para el planteamiento de la hipótesis se recurre a la **lógica inductiva**, o sea el proceso del razonamiento que empieza normalmente con fragmentos individuales de información y de los cuales se infiere una premisa general o universal. Ejemplo, un aficionado a observar diversas especies de pájaros se ha percatado, una y otra vez, que solo las aves de plumaje más oscuro de cada pareja ponen huevos. Con base en sus observaciones concluye que todos los machos de las aves tienen plumaje vistoso y que todas las hembras son de plumaje oscuro.

Una hipótesis no solo explica los hechos, también predice otros nuevos. Una predicción se expresa frecuentemente mediante el enunciado: “si..... entonces”. Por lo mismo, el ejemplo anterior se puede replantear de esta manera: Si las aves de cierta especie presentan distinta coloración, entonces los más vistosos son los machos.

**Evaluación de las predicciones.** Las predicciones de una hipótesis son probadas por medio de observaciones amplias o de experimentos; de este modo se logra comprobar o refutar una hipótesis que permitirá establecer un análisis y la síntesis del fenómeno estudiado con miras a establecer las conclusiones del caso.

El formular una hipótesis no significa haber llegado al final del problema. Pero muchos de los primeros científicos fallaron debido a que ellos solamente llegaron hasta la formulación de la hipótesis tomándola como una conclusión. Una hipótesis debe probarse. El científico puede estar seguro de que su hipótesis es correcta sólo si existe una **prueba o evidencia**. En lugar de ser el producto final de la investigación científica, la hipótesis es una “herramienta” para la continuación del estudio del problema (Purves *et al*, 2001).

#### 1.2.4 Experimentación

Una vez planteada una hipótesis con la que se puede trabajar, el paso siguiente es probarla. Tal prueba científica se denomina **experimentación**.

Un experimento debe estructurarse de tal modo que la información obtenida esté exenta de parcialidades y errores de muestreo. Por tanto, la validez del experimento depende de una cuidadosa selección de los individuos que participan en él, los cuales deben ser lo más homogéneos posibles, es decir, tener características físicas, fisiológicas y de comportamiento similares. Ejemplo misma edad, sexo, peso, etc.

**Diseño experimental.** Para obtener resultados concluyentes en las pruebas, los experimentadores realizan ciertas prácticas. Refinan el diseño de la prueba buscando información relacionada con su investigación en la **bibliografía**.

Diseñan experimentos para probar una por una las predicciones de una hipótesis.

Los investigadores desarrollan sus experimentos en una forma cuidadosamente controlada. **Un experimento controlado** es aquel en el que todos los factores son los mismos con excepción de uno que va ser probado, el que se denomina **factor variable**. Al grupo que se le aplica el factor variable se le denomina **grupo experimental**. Siempre que es posible se utiliza un **grupo testigo** (o de control) que constituye un medio de comparación para uno o más grupos experimentales. El grupo testigo debe ser idéntico a los grupos experimentales, excepto por el factor variable que se investiga (Olucha, 1995).

El uso del grupo testigo y el empleo de un solo factor variable cada vez, son características comunes de la investigación científica debido a que esto reduce el margen de error. En un experimento correctamente diseñado, las diferencias que aparezcan entre los grupos experimentales y control se deberán al factor que se esté probando.

Por ejemplo, en una investigación se tiene que probar una sustancia de la que se supone mata bacterias. Usted tendría que conducir un experimento controlado para verificar su idea. Necesitará de dos cultivos de bacterias iguales en todos sus aspectos, excepto que uno de estos cultivos va a ser expuesto a una sustancia y el otro no. Por tanto, la sustancia es el factor variable entre los dos grupos. El cultivo que recibirá la sustancia química es el grupo experimental, en tanto que el otro, es el cultivo o el grupo testigo.

Error de muestreo. Difícilmente los investigadores tienen la oportunidad de observar a todos los individuos de un grupo. En vez de ello, deben usar subconjuntos o **muestras representativas**. Para acertar en cuanto al número correcto de individuos que constituyen una muestra representativa es preciso acudir a la **bioestadística**, de lo contrario se incurre en el **error de muestreo**. Este consiste en efectuar pruebas con subconjuntos que no sean representativos de toda la población. En general, la distorsión de los resultados de la prueba es menos frecuente cuando las muestras son grandes y cuando los experimentos se repiten (Van Norman, 1998).

Es importante enfatizar que la aplicación del método científico puede servir para rechazar una hipótesis pero en ninguna circunstancia puede probar algo de modo

absoluto. Por consiguiente, una hipótesis que hoy es sometida a pruebas rigurosas quizá tenga que ser modificada mañana bajo el peso de nuevas evidencias. Tal como se aprecia en el ejemplo de los cultivos de bacterias, una vez que terminan los experimentos es necesario evaluar los resultados para ver si se puede aceptar, modificar o rechazar la hipótesis.

En casi todo estudio científico una de las metas fundamentales es explicar la causa de algún fenómeno; pero es muy difícil conseguir pruebas absolutamente seguras de relación de causa a efecto entre dos acontecimientos.

Cabe recalcar que sólo en raras ocasiones los científicos se apegan de manera rígida a un programa establecido. Las hipótesis pueden preceder a la obtención de datos o bien la información se acumula y analiza al mismo tiempo que se plantea la hipótesis en vez de hacerlo en orden progresivo. Así mismo, aunque los científicos son muy inquietos y bastante creativos en sus procesos de pensamiento, su curiosidad puede estar limitada por ideas previas, aceptadas mucho tiempo atrás. Las ideas novedosas que se apartan de los conceptos establecidos son relativamente raras.

Por otra parte, los científicos deben reconocer la importancia de observar todos los fenómenos, aun los aparentemente inocuos. Algunas veces una observación fortuita, al parecer sin importancia, puede ser muy valiosa al final.

Para ilustrar con un ejemplo la secuencia del método científico se presenta la investigación realizada por el médico británico Sir Alexander Fleming, en 1928 y relacionada con el descubrimiento de la penicilina (Oram, 1983).

Sir Alexander Fleming (1881 - 1955) investigaba en su laboratorio un tipo de bacteria del género *Staphylococcus*. Las bacterias crecían en cajas de Petri sobre un medio de cultivo de agar-agar, enriquecido con varios nutrientes. Fleming notó que en algunos de sus cultivos había crecido el hongo *Penicillium*. Pudo haber tirado esos cultivos contaminados con el hongo, pero observó algo más: alrededor del *Penicillium* había una zona incolora, debido a que las bacterias que habían crecido en ese lugar, habían muerto. En los cultivos sin el hongo, no aparecía esta zona incolora debido a que las bacterias continuaron creciendo y reproduciéndose.

Interpretación. Al observar que las bacterias habían muerto, Fleming razonó que el hongo debía haber producido una sustancia química que mataba a las bacterias. Supuso que la sustancia química salía del hongo invadiendo la zona incolora (libre de bacterias). No pudo ver las sustancias producidas por el hongo o que matara a las bacterias. Pero fue la explicación más lógica que puedo dar de los hechos observados. El razonamiento de Fleming acerca de la acción del *Penicillium* sobre las bacterias se considera una hipótesis. La hipótesis de Fleming fue que alguna sustancia química producida por el *Penicillium* mata a ciertas bacterias *Staphylococcus*.

Una buena hipótesis no solo explica los hechos, también predice otros nuevos. Además de establecer que una sustancia química producida por el *Penicillium* mataba a las bacterias, Fleming también predijo que ciertas sustancias químicas aisladas (no todo el hongo) podrían ser capaces de destruir bacterias.

Para probar su predicción debía aislar la sustancia bactericida y para lograr esto sembró algunos de los hongos en soluciones de caldo nutritivo, soluciones que contenían los ingredientes básicos necesarios para el crecimiento y la reproducción del hongo.



**Figura 1.2.** Sir Alexander Fleming en su laboratorio trabajando con el hongo *Penicillium*.

Se suponía que el hongo podría producir la sustancia bactericida que probablemente pasaría al caldo de cultivo.

Al añadir el caldo con la sustancia química (sin el hongo) a las bacterias, observó que éstas morían. Por tanto, había aislado la sustancia química y también había verificado la predicción de su hipótesis. La sustancia química sola pudo matar a las bacterias; no fue necesario todo el hongo.

Para comprobar que la sustancia química presente en el caldo era la que efectivamente mató a las bacterias, y no cualquier otro factor, Fleming añadió caldo puro a las bacterias, las cuales siguieron reproduciéndose. Por consiguiente, se eliminó la duda y la hipótesis fue confirmada. Fleming dio el nombre de **Penicilina** a esta sustancia química (Ehrlich *et al*, 1994).

El trabajo de Fleming con la penicilina surgió por una casualidad durante una investigación y condujo a otra investigación de mayor importancia práctica. Fleming vislumbró el uso futuro de la penicilina como un medicamento y estudió sus efectos en muchas de las enfermedades comunes causadas por bacterias. La penicilina ha salvado millones de vidas y su descubrimiento ha provocado la búsqueda de medicamentos similares. El resultado de esto ha sido el descubrimiento de otros medicamentos que matan bacterias sobre las cuales la penicilina no tiene acción. Estos medicamentos ahora llamados **antibióticos**, han sido de grande ayuda para la medicina moderna.

El anterior caso, permite demostrar cómo se desarrolla una investigación y a su vez cómo opera el método científico. Sin embargo, los estudios científicos no son nunca realmente completos: se hacen observaciones nuevas por la invención de instrumentos avanzados; se desarrollan hipótesis adicionales; y se diseñan mejores experimentos o modelos experimentales con el fin de comprobar las predicciones. Cada progreso a través del método científico acerca a los investigadores más a la verdad.

Se debe insistir en que rara vez se logra la certeza “total” de que un fenómeno X produzca un efecto Y. Cuando muchos experimentos y observaciones sucesivas dan el mismo resultado, aumenta la probabilidad de que X sea causa de Y. Cuando los experimentos o las observaciones pueden lograrse cuantitativamente (contarse o medirse), es posible mediante **análisis estadístico** considerar las probabilidades de que el fenómeno X produzca el fenómeno Y, o que Y se presente después de X por azar. Generalmente los científicos aceptan cierta relación de causa a efecto entre X y Y si pueden demostrar que la relación X – Y observada tiene menos de una probabilidad en 1% de deberse al azar. El análisis estadístico de un grupo de datos nunca puede dar respuesta categórica a una



pregunta; sólo puede informar que un fenómeno es **muy probable** o **improbable**. También puede informar al investigador de cuántos experimentos más, aproximadamente, debe hacer para alcanzar cierto nivel de probabilidad de que X sea causa de Y (Gardiner y Flemister, 2002).

### 1.2.5. Conversión de hipótesis en teoría

La mayoría de las **hipótesis** se relacionan con otras hipótesis a fin de formar parte de una teoría. Una teoría es la explicación de un fenómeno de la naturaleza, que la evidencia ha apoyado repetidas veces. El significado popular de la palabra “teoría” es diferente del que se tiene a nivel científico. Para muchas personas teoría tiene el significado de “cháchara”, es decir, explicaciones inconsistentes y superfluas sobre un tema; para el científico, en cambio, teoría es una explicación que tiene alto grado de confiabilidad, por ejemplo, la teoría celular.

Las teorías científicas no son inmutables puesto que en algunos casos aparecen nuevas teorías que las sustituyen. En otros casos, se encuentran nuevos datos que obligan a modificarlas, por ejemplo la teoría atómica, la cual se ha modificado en varias ocasiones.

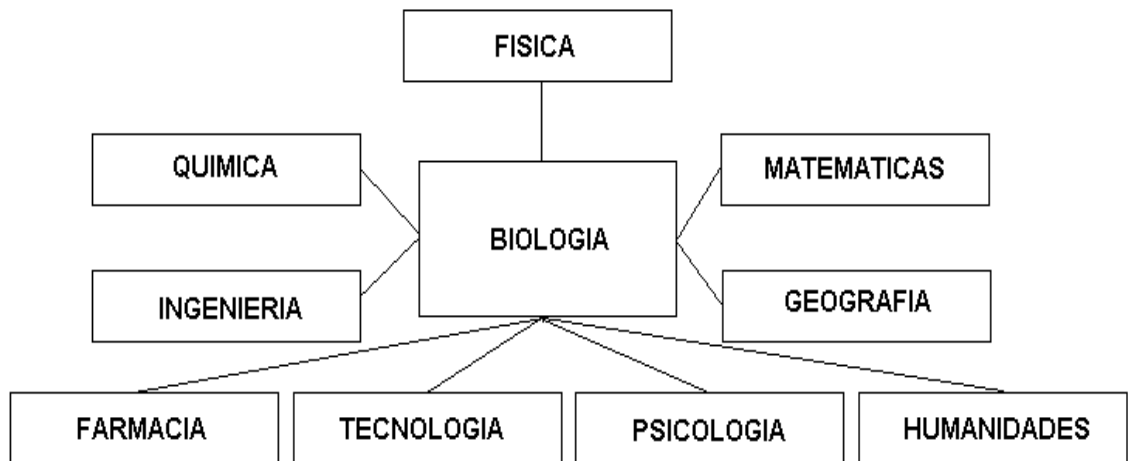
Una teoría consistente, al mostrar las relaciones entre diversos hechos, simplifica y aclara la comprensión de los fenómenos naturales. Einstein afirmó: *“A lo largo de la historia, la ciencia, desde la filosofía griega hasta la física moderna, ha recibido intentos constantes de reducir la complejidad evidente de los fenómenos naturales a ideas y relaciones fundamentales y sencillas”*.

Una teoría que con el paso del tiempo, ha generado predicciones válidas de uniformidad invariable, y que por lo tanto es de aceptación casi universal, puede denominarse **principio o ley científica**, por ejemplo las leyes de Mendel acerca de la transmisión de las características heredables (Welch *et al*, 2002).

## 1.3. RELACIONES DE LA BIOLOGÍA CON OTRAS CIENCIAS

La biología como disciplina científica no puede ser un área aislada, sino que por el contrario, se debe apoyar en otras ciencias para alcanzar la comprensión de los fenómenos.

Lo anterior conlleva en la actualidad a formar grupos de estudio o de investigación interdisciplinarios, con el fin de facilitar los procesos y a su vez integrar las ciencias, obteniendo un conocimiento más profundo. Un caso palpable es la relación establecida entre la biología con disciplinas como la matemática, la física, la química e incluso la ingeniería, las cuales a su vez buscan también apoyo en la biología. Dicha relación interdisciplinaria se aprecia en la Figura 1.3.



**FIGURA 1.3** Modelo representativo de la relación existente entre la biología y otras disciplinas.

La biología como ciencia ha permitido desarrollar una serie de ramas propias de la misma especificidad de la biología o producto de la relación con otras disciplinas, como es el caso de la biofísica o de la bioestadística. Estas ramas permiten dividir y a su vez especificar el estudio y la comprensión de los diversos fenómenos biológicos, llegando incluso a generar especializaciones a nivel profesional. Lo anterior se representa en la tabla 1.1.

Sin embargo, la biología entendida como el estudio de los seres vivos, se suele agrupar en tres grandes áreas como son la botánica, la zoología y la microbiología (Lamotte y Heritier, 1994).

## 1.4 APLICACIONES DE LA BIOLOGÍA

La mayoría de las sociedades modernas apoyan el trabajo de los investigadores. A su vez, los científicos contribuyen con una comprensión del mundo lo más cercana posible a la verdad.

PROFESION	ORGANIZACIÓN BIOLÓGICA	RAMAS INTEGRADAS DE LA BIOLOGÍA
ECÓLOGO	ECOSISTEMA COMUNIDAD POBLACIÓN	BOTANICA FISIOLOGÍA ZOOLOGÍA MICROBIOLOGÍA
MEDICO ENFERMERA AGRÓNOMO VETERINARIO	INDIVIDUO	BIOMETRÍA GENÉTICA BIOFÍSICA BIOQUÍMICA
HISTÓLOGO	TEJIDO	ETOLOGÍA
CITÓLOGO	CÉLULAS	TAXONOMÍA
BIÓLOGO MOLECULAR	MOLÉCULAS	ANATOMÍA

**Tabla 1.1** Áreas de especialización en el estudio de fenómenos biológicos.

Los biólogos contemporáneos buscan entender todos los aspectos del mundo, que se encuentran dentro de ellos y en el medio circundante.

Las áreas más importantes de la biología aplicada incluyen entre otras, la medicina humana y veterinaria, la agricultura, la ganadería, la conservación, la biotecnología e ingeniería genética.

El estudio de la estructura y fisiología de la membrana celular ha permitido a nivel

médico y biotecnológico comprender y aplicar procesos relativos a la asimilación de nuevos fármacos u hormonas. Por otra parte, investigaciones sobre fermentación en organismos anaeróbicos han desarrollado la gran industria de vinos, lácteos y producción de alimentos (Welch *et al*, 2002).

Pero sin duda alguna el impacto más espectacular de la aplicación de la biología ha sido la decodificación del genoma humano lo cual permitirá curar enfermedades mediante el tratamiento de los genes defectuosos. El uso cada día más frecuente de organismos genéticamente modificados u organismos transgénicos (**OGMs**) es otro campo biológico que ha permitido la aplicación de metodologías propias para beneficio de la comunidad (Vaidyanath, 2009).

## **1.5. FUENTES DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA**

La información científica para el área de la biología se suele encontrar de manera actualizada en revistas científicas de reconocimiento internacional, así como en las revistas de las facultades de ciencias o departamentos de biología de claustros universitarios nacionales o internacionales, los cuales divulgan trabajos de investigación realizados por docentes investigadores o por estudiantes tesisistas (Purves *et al*, 2001).

### **Publicaciones de divulgación biológica y científica disponibles en la UFPS:**

- Revista Caldasia. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales.
- Revista Mutis. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- Actualidades Biológicas. Revista de la Universidad de Antioquia – Colombia
- Cespedecia. Revista del Departamento de Biología. Universidad del Valle.
- National Geographic. Revista oficial de la National Geographic Society
- Dugandia. Revista del Departamento de Biología. Universidad del Atlántico.
- Revista Innovación y Ciencia. Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia.
- Revista Natura. “El mundo en que vivimos”.
- Revista de Investigación y Ciencia.
- Journal The Biology.

## **Bibliografía:**

ALEXANDER, Peter *et al.* 1992. Biología. New Jersey : Prentice Hall.

CURTIS, Helena Y N. Sue BARNES. 2000. Biología. 6a ed. Madrid: Médica Panamericana.

COOPER, Geoffrey M. y R.E. HAUSMAN 2011. La célula. 5a ed. Madrid: Marbán.

GRIFFITHS, Anthony J.F. *et al.* 2000. Genética moderna. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.

IZCO, Jesús *et al.* 1997. Botánica. Madrid: Mc Graw- Hill Interamericana.

KARP, Gerald. 2010. Biología celular y molecular. 6ª ed. Mexico: Mc Graw-Hill interamericana

KLUG, William S. *et al.* 2006. Conceptos de Genética. 8a Ed. Madrid: Pearson Educación.

MADER, Sylvia S. 2008. Biología 9ª ed. China: Mc Graw-Hill Interamericana

NASON, Alvin. 2010. Biología. Mexico: Limusa

OVERMIRE, Thomas G. 2003. Biología Mexico: Limusa

PANIAGUA, Ricardo *et al.* 2011. Biología celular. 5ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.

PURVES, William K. et al. 2001. Life: The science of Biology: 8th ed. USA: Sinauer Associates

SOLOMON, Eldra Pearl *et al.* 2011. Biología de Ville. 8a ed. México: Mc Graw Hill. Interamericana.

STARR, Cecie y TAGGART, Ralph.2004. Biología. 10a ed. México: Thompsom,

VAIDYANATH, K. 2009. Introduction to Biology and Biotechnology. 2<sup>nd</sup> ed. Boca raton FI (USA): CRC Press.

### **Webgrafía:**

Otra fuente de información bastante actualizada son las páginas web presentes en sitios muy específicos de Internet.

<http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/profesor/unidades.htm>

<http://faculty.clintoncc.suny.edu/faculty/michael.gregory/default.htm>

<http://www.hhmi.org/biointeractive/>

**Buscadores de internet que permiten suministrar información rápida a nivel biológico.**

[www.espanol.yahoo.com](http://www.espanol.yahoo.com)

[www.yahoo.com](http://www.yahoo.com)

[www.lalupa.com](http://www.lalupa.com)

[www.altavista.com](http://www.altavista.com)

## 1.6. UNIDADES DE MEDICIÓN

La ciencia es universal y por lo tanto los científicos deben comunicar sus descubrimientos a otros para que sean conocidos y a su vez divulgados. La transferencia de información se dificulta por la cantidad de idiomas existentes en el mundo. Sin embargo, existe un lenguaje especial de números y unidades de medida llamado el *sistema métrico*, que es el empleado por todos los científicos, sin importar su nacionalidad (Nelson *et al*, 1998). Ver tabla 1.2.

<b>LONGITUD</b>				
<b><i>Metro</i></b> <b><i>(m)</i></b>	<b><i>Milímetro</i></b> <b><i>(mm)</i></b>	<b><i>Micrón</i></b> <b><i>(<math>\mu m</math>)</i></b>	<b><i>Nanómetro</i></b> <b><i>(nm)</i></b>	<b><i>Angstrom</i></b> <b><i>(Å)</i></b>
1	1000	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^{10}$
0.001	1	1000	1000000	$1 \times 10^7$
0.000001	0.001	1	1000	$1 \times 10^4$
$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-6}$	0.001	1	10
$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-4}$	0.1	1

<b>MASA</b>
-------------



<b>Gramo (g)</b>	<b>Miligramo (mg)</b>	<b>Microgramo (<math>\mu</math>g)</b>	<b>Nanogramo (ng)</b>	<b>Picogramo (pg)</b>
1	1000	1000000	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^{12}$
0.001	1	1000	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^9$
$1 \times 10^{-6}$	0.001	1	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^6$
$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-6}$	0.001	1	$1 \times 10^3$
$1 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-6}$	0.001	1

<b>VOLUMEN</b>		
<b>Litro (l)</b>	<b>Mililitro (ml)</b>	<b>Centímetro Cúbico (cc) o (<math>cm^3</math>)</b>
1	1000	1000
0.001	1	1

**TABLA 1.2** Unidades de medida en longitud, masa y volumen aplicadas en biología.

**PALABRAS CLAVES.**

Conocimiento empírico

Grupo experimental

Predicción

Método científico

Conocimiento científico

Ley

Hipótesis

Lógica inductiva

Grupo testigo

Experimento

Lógica deductiva

Factor variable

Teoría

## BIBLIOGRAFIA

BAKER, Jeffrey J. y Garland E. ALLEN. 1990. Biología e Investigación Científica. USA. Fondo Educativo Interamericano S.A.

BUNGE, Mario. 1972. La investigación científica. 2a ed. Barcelona, Ariel.

CAULLERY, Maurice. 1990. Las etapas de la Biología. Barcelona: Surco.

CURTIS, Helena y N. Sue BARNES, 2000. Biología. 6a ed. Madrid. Médica Panamericana.

DYSON, C. 2004. Principios de Biología celular. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.

EHRlich, Paul R. *et al.* 1994. Introducción a la Biología. Bogotá: Mc Graw-Hill.

GARDINER, Mary S. y Sarah C. FLEMISTER. 2002. The Principles of general Biology. London: The Mc Millan Company.

LAMOTTE, Maxime y Philippe HERITIER. 1994. Biología general. Madrid: Alhambra.

NELSON, Gideón E. *et al.* 1998. Conceptos fundamentales de Biología. México: Limusa.

OLUCHA, Francisco *et al.* 1995. Curso de Biología COU Madrid: Mc Graw-Hill.

ORAM, R. F. *et al.* 1983. Biología. Sistemas vivientes. México: CECSA.

PURVES, William K. *et al.* 2001. Life: The Science of Biology. 8<sup>th</sup> ed. USA. Sinauer Associates.

SOLOMON, Eldra Pearl *et al.* 2011. Biología de Villée. 8a ed. México: Interamericana Mc Graw- Hill.

VAN NORMAN, Richard W. 1998. Biología experimental. Buenos Aires; Troquel.

WELCH, Claude A *et al.* 2002. Ciencias Biológicas. México: Continental. AID.

## **UNIDAD 2.**



# **CARACTERIZACIÓN DE LOS SERES VIVOS**

---

## **INTRODUCCIÓN**

La Biología contemporánea analiza el mundo de los seres vivos en todos sus detalles e interacciones; es relativamente fácil afirmar que una persona, un pájaro o un pino están vivos, mientras que las rocas son inertes. De pronto surge la pregunta ¿qué es vida? Una definición propone que vida es la actividad realizada por un organismo vivo.

Esto complica el concepto, ya que debe definirse ahora lo que es organismo vivo. A veces, la vida se describe en términos filosóficos o religiosos pero dar una definición científica y que incluya todos los aspectos de lo que es vida es prácticamente imposible. De hecho las investigaciones recientes en el campo de la biofísica y la biología molecular llevan a la conclusión de que no hay una línea definida que distinga entre lo vivo y lo inerte y que sería mejor si los sistemas vivientes se consideran una clase de organización especial de los mismos elementos que se encuentran en el resto del universo. Más práctico que tratar de definir la vida es caracterizar los seres vivos, es decir, describir sus rasgos especiales.

### **2.1 RASGOS RELEVANTES DE LOS SERES VIVOS**

Los seres vivos poseen determinados rasgos que son cuantificables o medibles y por lo tanto los organismos se caracterizan por:

- Tener una organización estructural y química específica.
- Poder usar materiales de su ambiente para proveer energía y elementos estructurales para sus actividades celulares (metabolismo).
- Capacidad para conservar su medio interno adecuado incluso si el ambiente externo se modifica (homeostasis).
- Habilidad para aumentar de tamaño durante su vida (crecimiento).
- Capacidad para producir réplicas de sí mismos (reproducción).
- Poder para responder a estímulos del ambiente (irritabilidad).
- Habilidad para moverse y desplazarse de alguna manera.
- Capacidad para sobrevivir en condiciones adversas del entorno (adaptación).

Es importante destacar que no todos los organismos conocidos poseen cada una de estas características de manera que puedan ser reconocidas de inmediato. No obstante, estas características son comunes a la mayoría de los organismos que estudian los biólogos (Mader, 2008).

### **2.1.1 Organización específica**

Generalmente los seres vivos presentan tamaño, forma y composición física y química definidos mientras que las cosas inertes, como las piedras, carecen de un patrón fijo de tamaño y forma. Uno de los principios básicos de la biología afirma que todos los seres vivos se componen de unidades básicas llamadas células y de sustancias producidas por éstas. Algunas de las formas de vida más sencillas como las bacterias son unicelulares, mientras que otras como los árboles o los mamíferos se componen de miles de millones de células. En estos complejos organismos multicelulares, los procesos biológicos dependen del funcionamiento coordinado de las células constitutivas (Starr y Taggart, 2004).

### **2.1.2 Crecimiento, diferenciación y desarrollo**

Aunque algunos objetos inertes parecieran crecer, como es el caso de los cristales en una solución saturada de cloruro de sodio, los biólogos restringen el término crecimiento a los procesos que aumentan el volumen de materia viva en un organismo. (Aumento de masa celular). El crecimiento es el resultado del incremento del número de moléculas estructurales a tal ritmo que se supera la

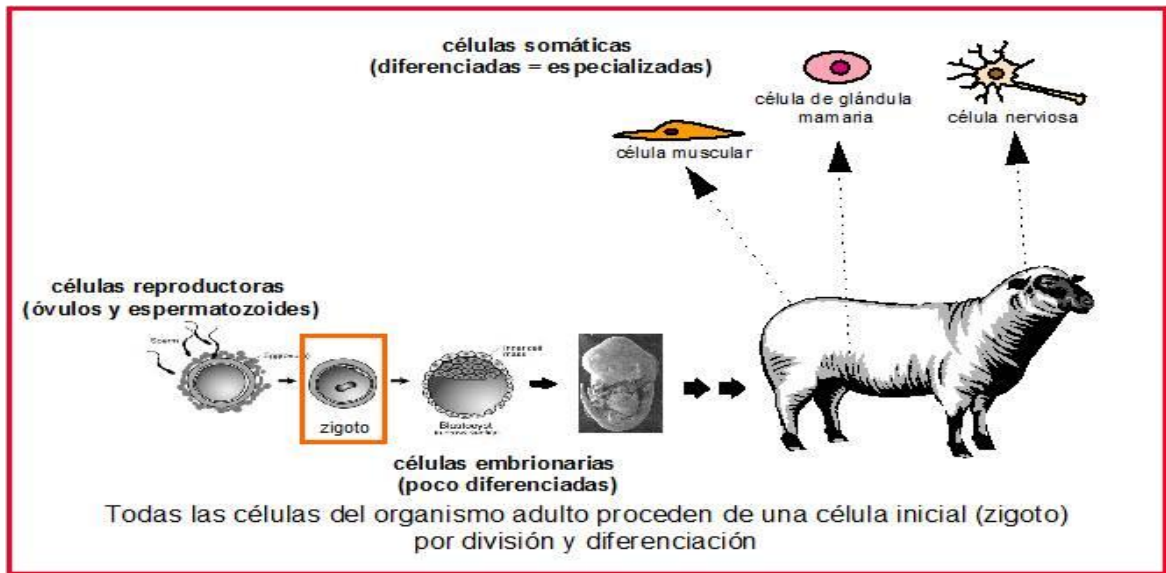
velocidad con que se destruyen; es decir, durante los períodos de crecimiento los procesos anabólicos sobrepasan los catabólicos.

Un organismo puede crecer por aumento del tamaño de las células o un aumento del número de células o por ambos procesos a la vez. En algunos microorganismos y en numerosas plantas el crecimiento continúa a través de toda su vida mientras que diversos animales tienen un período definido de crecimiento, que termina cuando alcanzan una talla determinada en la edad adulta.

Uno de los aspectos singulares del crecimiento es que cada parte del organismo continúa su funcionamiento mientras crece. Durante el crecimiento de un organismo multicelular desde la etapa del cigoto, las células adquieren diferentes formas y funciones como resultados de cambios tanto estructurales como bioquímicos. De esta forma, de un mismo cigoto surgen células que son tan diferentes en sus detalles, como lo son una célula ósea y una célula sanguínea. Estos cambios que ocurren después de la fecundación y durante el crecimiento, se conocen como proceso de **diferenciación** (Audersik y Audersik, 2006).

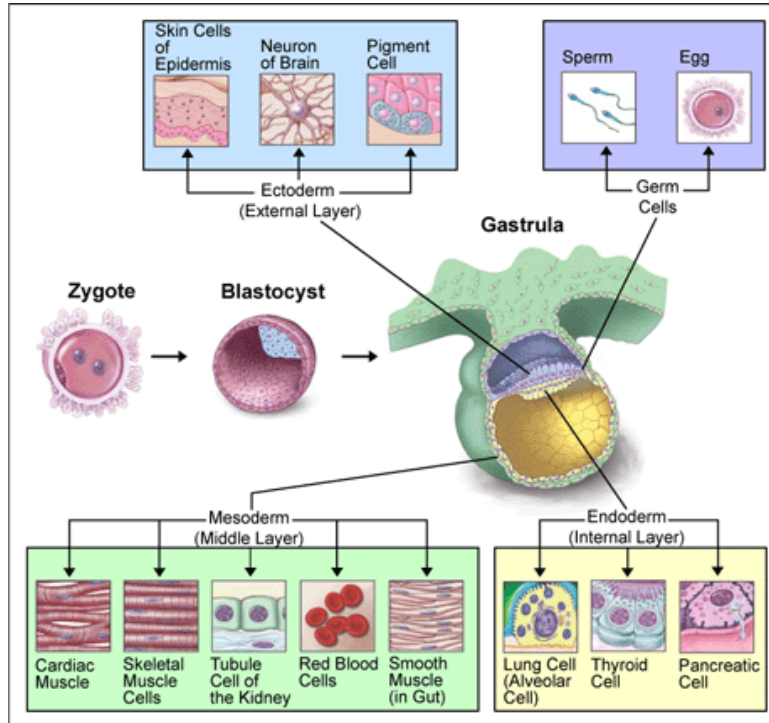
El proceso de diferenciación es una etapa necesaria en la especialización de las células. Un organismo multicelular tiene que efectuar todas las actividades vitales y no puede abandonar una función importante para realizar otra más simple. En el organismo multicelular la especialización constituye una ventaja por cuanto si ciertas células se especializan en transmitir mensajes, por ejemplo, neuronas, otras se especializan en producir movimiento de contracción como las fibras musculares, lográndose así una coordinación mejor.

El organismo puede, entonces, responder a estímulos más complejos y aumentar sus posibilidades de sobrevivir. Al especializarse las células pierden su capacidad de vida independiente. Una célula nerviosa no puede sobrevivir fuera del cuerpo del animal, excepto en condiciones muy exigentes de laboratorio. Como la célula nerviosa se especializa en llevar mensajes, otras células deben especializarse en el transporte de oxígeno a las células nerviosas, mientras que otras eliminan los residuos. Debido a estas complejas interrelaciones entre células, los organismos alcanzan gran eficacia y un alto grado de coordinación que no sería posible si no fuera por la diferenciación celular. Ver **Figura 2.1**.



**Figura 2.1** Fecundación y desarrollo del óvulo fecundado en la oveja.

La pregunta que con frecuencia se formula el lector es: si todas las células que posee un organismo multicelular provienen de un solo cigoto y son genéticamente idénticas, ¿cómo se explica la diversidad de formas celulares con funciones diferentes que se organizan para formar tejidos, órganos o aparatos? Las características estructurales, funcionales y de comportamiento de cualquier célula están codificadas en los **genes**, los cuales no se expresan todos a un mismo tiempo sino que se presenta una expresión diferencial de los genes (Oram *et al*, 1983).



**Figura 2.2** Diferenciación celular en el ser humano.

El concepto de **expresión diferencial de los genes** indica que solo algunos de los genes son activados o se expresan cuando corresponden a una forma o función determinadas. El resto de genes permanecen en reposo o inactivos, lo que significa que durante la diferenciación celular no hay pérdida de información genética sino expresión parcial del genoma (Kimball, 1996).

Está claro que, aunque la mayoría de las células contienen un juego completo de ADN, en un momento dado expresan solo una parte de su material genético. Por ejemplo, las bacterias <<activan>> muchos genes en respuesta a sus condiciones ambientales específicas, y los desactivan cuando esas condiciones cambian. En los vertebrados, las células epiteliales pueden tener los genes de la melanina activos pero nunca activan los de la hemoglobina; las células digestivas activan muchos genes específicos para su función, pero no activan los de la melanina.



Muchas de las actuales investigaciones en Biología están encaminadas a comprender los mecanismos de la diferenciación celular, en especial lo relacionado con el cáncer, ya que algunos tipos de cáncer parecen implicar la **dediferenciación o desdiferenciación de células**, es decir, en ciertas ocasiones la célula afectada regresa a su estado embrionario perdiendo de esta manera su estructura y su especialización química. Así, de acuerdo con el comportamiento embrionario típico las células cancerosas se dividen aceleradamente consumiendo grandes cantidades de energía, la cual sustraen de otras células. Además, debido a esta desdiferenciación, las células cancerosas no pueden llevar a cabo las funciones que realizaban anteriormente en el organismo. Conociendo los procesos de diferenciación sería posible indagar el tratamiento adecuado del tejido canceroso o afectado (Ver Figura 2.2).

Los seres vivos, además de crecer y diferenciarse, se desarrollan. El desarrollo incluye todos los cambios que ocurren durante la vida de un organismo. Generalmente la vida de numerosos organismos incluyendo al hombre comienza como un huevo fecundado, que después crece y desarrolla estructuras y formas especializadas.

La **morfogénesis** se refiere a la forma externa y determina la flexión, fusión y separación de las células a medida que se forman los órganos y sistemas. La morfogénesis está vinculada a la capacidad para reconocer y adherirse a otras células. Interviene la superficie de las células. En el sistema nervioso embrionario, se forman muchas más conexiones que las que se necesitan; poco después del nacimiento, ocurren los procesos de consolidación y eliminación.

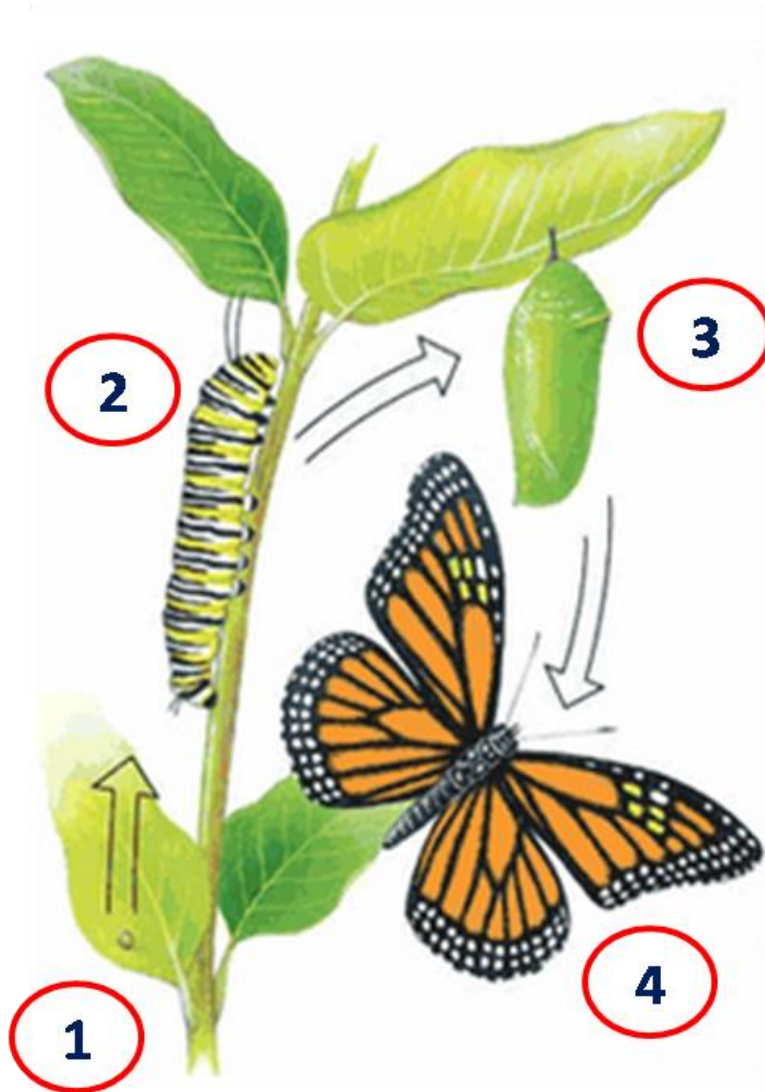
En numerosas especies de insectos y anfibios se presenta la **metamorfosis** que comprende una serie de cambios acentuados por los cuales pasa un organismo desde un huevo hasta adulto. Durante la metamorfosis un insecto puede cambiar su tamaño, la forma del cuerpo, sus hábitos alimenticios y su hábitat. El ejemplo más representativo de metamorfosis ocurre en los lepidópteros (mariposas). Una vez que el **huevo** ha eclosionado se presenta la **larva** (gusano); cuando la larva completa su crecimiento pasa a la etapa llamada **pupa o crisálida**, la cual está envuelta en un capullo. Aparentemente la crisálida es inerte pero en ella se verifican complejos procesos bioquímicos que la transforman en un adulto o **imago**. Ver Figura 2.3.

La **regeneración** se refiere a la reposición de las partes perdidas o dañadas de un organismo, tal como ocurre en las esponjas. La capacidad de regeneración es

muy limitada cuando el organismo llega a la edad adulta. El tejido nervioso suele participar en el control del proceso regenerativo, así como las sustancias que estimulan el crecimiento (Alexander *et al*, 2002).

### **2.1.3 Energía y metabolismo**

Además del ADN, los seres vivos también requieren de **energía**, la capacidad para realizar un trabajo. Sus células realizan trabajo conforme los átomos ceden, comparten o aceptan electrones. También trabajan para ensamblar, reordenar o dividir moléculas. Estos eventos moleculares se llevan a cabo gracias a la energía. En otras palabras, toda célula viva tiene la capacidad de: 1) obtener energía de sus alrededores y transformarla y 2) usar la energía para mantenerse a sí misma, crecer y producir más células. Esta capacidad se llama **metabolismo**.



**Figura 2.3** Ilustración de la Metamorfosis en Lepidopteros. 1. Huevo, 2. Larva o gusano, 3. Pupa o Crisálida, 4. Adulto o imago.

Por consiguiente, el metabolismo comprende la suma total de los procesos químicos involucrados en la liberación y utilización de energía dentro de un organismo. Aún cuando hay cientos de reacciones metabólicas diferentes, todas ellas pueden agruparse en tres categorías:

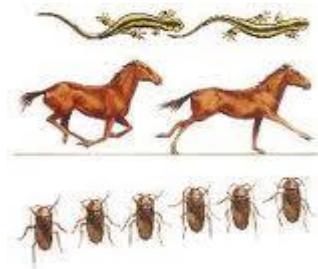
- Las reacciones que envuelven el rompimiento de moléculas más grandes en moléculas pequeñas se les llama **procesos de degradación, catabolia** o

**catabolismo.**

- A aquellas que involucran la unión de pequeñas moléculas para formar moléculas más grandes se les conoce **como procesos de síntesis, anabolia o anabolismo**
- Las reacciones que comprenden la transformación de una molécula en otra de igual nivel de complejidad se les llama **proceso de transformación** (Garrido Pertierra, 1991).

**2.1.4 Movimiento**

Una de las características más evidentes de los seres vivos es el **movimiento**, sin que implique necesariamente **locomoción** o desplazamiento de un sitio a otro. Aunque los movimientos de los animales son mucho más notorios (ellos caminan, brincan, reptan, nadan, corren, o vuelan), las plantas también poseen movimientos pero por lo general son lentos e inconspicuos, por ejemplo, las plantas se mueven durante el transcurso del día siguiendo la posición del sol en el espacio. La materia viva en el interior de la célula también está en movimiento continuo (Fried, 1990).



**Figura 2.4** Tipos de locomoción en los seres vivos.

### 2.1.5 Irritabilidad y homeostasis

A menudo se dice que sólo los seres vivos responden a su medio ambiente. Sin embargo, inclusive una roca responde a él; por ejemplo, cuando cede ante la fuerza de la gravedad y cae colina abajo, o su forma cambia lentamente por los repetidos embates del viento, la lluvia o las mareas. La diferencia es la siguiente: los organismos perciben los cambios en su entorno y efectúan repuestas compensatorias y controladas ante ellos. Esta capacidad de los seres vivos de responder a los estímulos se denomina **irritabilidad** y ocurre porque cada organismo posee **receptores** que son moléculas y estructuras que detectan los estímulos (Overmire, 2009).

Un **estímulo** es una forma específica de energía que el receptor puede detectar. Algunos ejemplos son la energía solar, la energía calorífica, la energía de enlace de las moléculas de una hormona y la energía mecánica de una mordida.

Las células ajustan su actividad metabólica en respuestas a señales de los receptores. Cada célula (y organismos) puede soportar determinado grado de calor o frío; debe liberarse de las sustancias dañinas; requiere de ciertos alimentos en determinada cantidad. No obstante, la temperatura cambia, puede encontrarse con sustancias dañinas y a veces los alimentos abundan o escasean.

Cuando una persona ingiere una golosina, los azúcares pasan a través de su intestino y entran a la sangre. Esta última, junto con el líquido tisular que baña sus células, constituye el medio ambiente interno del organismo. Sin vigilancia, el exceso o la falta de azúcar en la sangre pueden provocar **diabetes** y otros problemas. Cuando el nivel de esta sustancia aumenta, el páncreas, un órgano glandular, secreta más insulina. La mayoría de las células del cuerpo tiene receptores para esta hormona, que estimula a las células a captar azúcar. Cuando un número suficiente de células hace esto, el nivel de azúcar en la sangre regresa a la normalidad.

Los organismos responden de manera tan refinada a los cambios de energía, que sus condiciones operativas internas por lo general permanecen dentro de límites tolerables. Este estado, llamado **homeostasis**, constituye una de las características clave que define la vida (Purves *et al*, 2011).

Para comprender el significado de la homeostasis en la supervivencia de los seres vivos se cita este ejemplo. El cuerpo de una persona adulta contiene muchos trillones de células vivas que deben obtener nutrientes de los 15 litros de líquido corporal y eliminar sus desechos en los mismos 15 litros de líquido. De nuevo, el líquido que no se encuentra dentro de las células del cuerpo es líquido extracelular. Gran parte de este es **líquido intersticial** que llena los espacios entre células y tejidos. El resto es **plasma**, la parte líquida de la sangre. El líquido intersticial intercambia muchas sustancias con las células que baña y también con sangre, y de este modo se mantiene el equilibrio entre el líquido intracelular y el líquido extracelular.

La homeostasis es el estado en el cual el ambiente interno del cuerpo se mantiene dentro de cierto rango que las células pueden tolerar. En los seres humanos hay tres tipos de componentes que interactúan para mantenerla: los receptores sensoriales, los integradores y efectores.

Los **receptores sensoriales** son células o partes de células que detectan formas de energía, como la presión. Cualquier forma de energía específica que el receptor ha detectado es un estímulo. Cuando un hombre besa a una mujer, la presión en sus labios cambia. Los receptores en los tejidos del labio traducen el estímulo en señales que viajan al cerebro.

El cerebro es un ejemplo de **integrador**, un puesto de mando central que recopila información acerca de los estímulos y envía señales a músculos y a las glándulas, que son los **efectores** del cuerpo, es decir, efectúan las respuestas precisas. Una respuesta a un beso es ruborizarse de placer y devolver el beso. Por supuesto, un beso no se puede dar de manera indefinida porque impedirá comer, respirar con profundidad y muchas otras actividades necesarias para mantener el cuerpo en condiciones de funcionamiento (Starr y Taggar, 2004).

¿Cómo revierte el cerebro los cambios fisiológicos inducidos por un beso? Los receptores solo pueden darle información de cómo **están** funcionando las cosas. El cerebro también evalúa la información de cómo **debieran estar** operando las cosas con relación a “puntos de referencia”. Un ejemplo de punto de referencia es la concentración de bióxido de carbono en la sangre que pasa por una arteria determinada. Cuando la concentración de bióxido de carbono se desvía mucho del punto de referencia, el cerebro inicia acciones que la regresarán a un rango de operación eficiente por medio de señales que hacen que efectores específicos en diferentes regiones del cuerpo aumenten o disminuyan determinadas actividades.

Por otra parte, la respuesta de un organismo a un estímulo dado es a menudo muy específica. Por ejemplo, los perros responden de una forma muy diferente al mismo estímulo, el olor. Cuando un perro olfatea la comida, responde aumentando la salivación, mientras que si huele un conejo responde siguiendo el rastro que lo conduce a él. Al oler una persona extraña responde enseñando sus colmillos y erizando el pelo de la región dorsal del cuello mientras que con las personas conocidas mueve la cola, se echa en el piso y juega. En todos los casos mencionados el estímulo es el mismo, el olor; sin embargo las diferencias de estos olores específicos produjeron respuestas claramente diferentes.

Los seres vivos generalmente presentan dos tipos de respuestas al estímulo: las **innatas** y las **aprendidas**.

**Las respuestas innatas** son aquellas que se heredan, como la capacidad de hilar un tipo particular de tela que tejen las arañas. Una araña que se desarrolle desde la etapa de huevo hasta su estado adulto completamente aislada de otras arañas, es capaz de hilar una telaraña perfecta al primer intento, con la forma y el diseño idéntico al hilado por su progenitora. Por el contrario, **el comportamiento aprendido** es el producto del contacto repetido con un estímulo. El organismo rápidamente cambia su comportamiento para responder a este estímulo en una forma determinada. Se ha demostrado experimentalmente que casi todos los animales (incluyendo al hombre) tienen la capacidad de aprender a responder a ciertos estímulos (Audersik y Audersik, 2006).

### 2.1.6 Reproducción

Si hay alguna característica que identifique a los seres vivos es la reproducción; aunque hasta el siglo XIX se creía en la “generación espontánea” de los seres vivos. Hoy se sabe que cada organismo solo puede provenir de un ser preexistente. La reproducción es el proceso mediante el cual se forman nuevos individuos y si bien no es necesaria para la supervivencia individual, si es indispensable para la continuidad de una especie. Cuando miembros de una especie no se reproducen, la especie se extingue. Desde el punto de vista del proceso reproductivo, en el ser humano se encuentran dos clases de células. Las **células somáticas** y las **células reproductivas o sexuales**, también

denominadas gametos (Ver figura 2.5).

Aproximadamente el 99.9 % de las células de un organismo son células somáticas o corporales encargadas de realizar todos los procesos inherentes al ser vivo, con excepción a la reproducción, de la cual se encargan células especializadas llamadas **sexuales o gametos**, las cuales dan origen a una nueva generación. Los gametos suelen diferenciarse del resto en la fase temprana del desarrollo. Las células somáticas y los gametos tienen diferente número de cromosomas (Fried, 1990). Ver figura 2.5

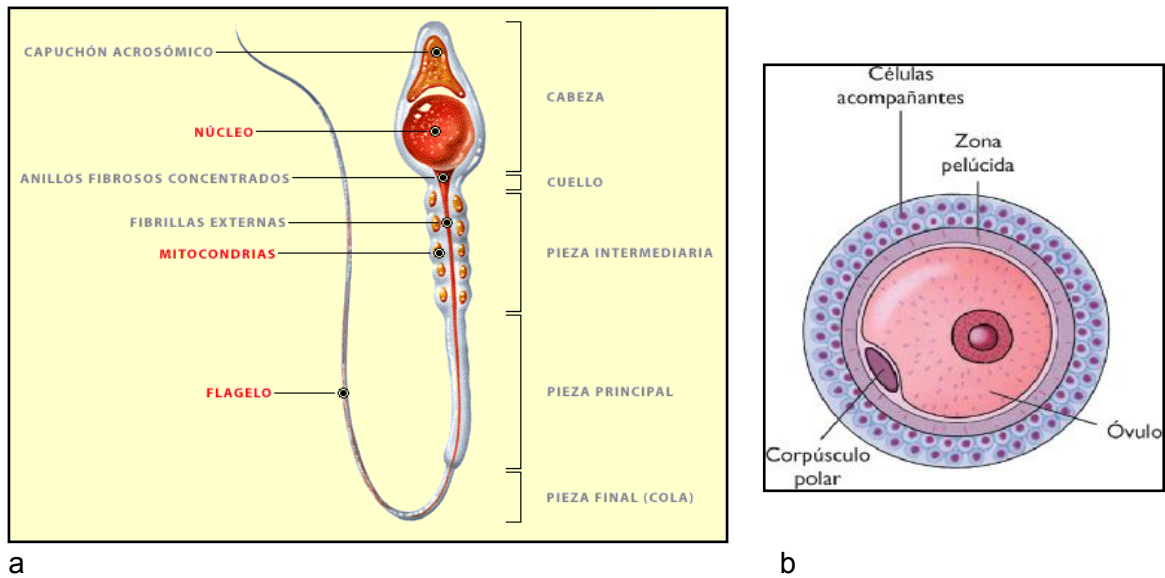
Los cromosomas suelen encontrarse en **pares** en las células somáticas de plantas superiores y animales. Así, los 46 cromosomas de las células humanas constituyen 23 pares diferentes. Los miembros de un par llamados **cromosomas homólogos**, son similares en su morfología. Ver Tabla 2.1

Si una célula o un núcleo contiene dos cromosomas de cada tipo (dos juegos de cromosomas) se dice que es **diploide** ( $2n$ ). Las células somáticas, por consiguiente son diploides. En las células sexuales o gametos, por otro lado, sólo está presente un cromosoma de cada homólogo y las células son **haploides** ( $n$ ). En el ser humano, el número cromosómico diploide es  $2n = 46$  y el haploide es  $n = 23$ .

El número de cromosomas es característico de cada especie y es constante de generación en generación. Ejemplo: el perro tiene 78 cromosomas y su descendencia también tendrá 78 cromosomas, mientras que la lombriz del caballo solo tiene dos cromosomas. El número mayor o menor de cromosomas no indica que la especie tenga más o menos complejidad orgánica.

El proceso reproductivo varía mucho entre los diferentes tipos de organismos; sin embargo, se pueden distinguir dos tipos básicos de reproducción: asexual y sexual. En la **reproducción asexual**, por lo general, un solo progenitor se divide, forma yemas o se fragmenta para formar dos o más individuos idénticos. En la mayor parte de las formas de reproducción asexual todas las células se generan por mitosis, de modo que sus genes y rasgos heredados son idénticos a los del progenitor. El grupo de organismos genéticamente idénticos y que provienen de un mismo progenitor se les denomina **clon** (Avers, 1994).





**Figura 2.5** Representación gráfica de las células sexuales o gametos en humanos. a. Espermatozoide o gameto masculino; b. Óvulo o gameto femenino.

La reproducción asexual suele ser un proceso rápido y permite a los organismos bien adaptados a su ambiente producir nuevas generaciones de organismos igualmente adaptados.

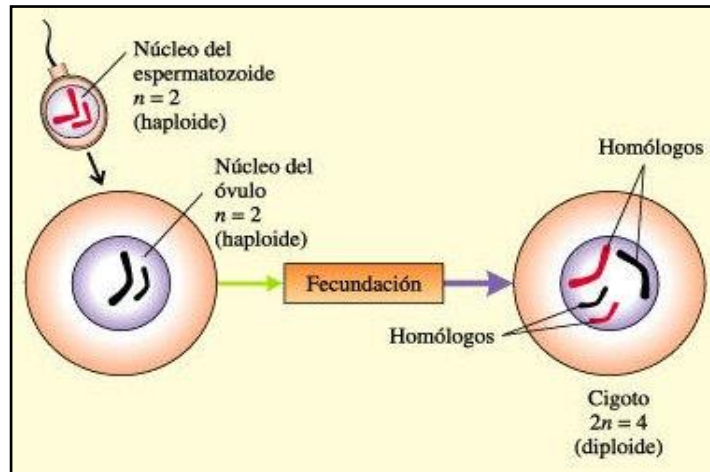
En contraste, la **reproducción sexual** implica la unión de dos células especializadas, o gametos, para formar una sola célula llamada **cigoto**, a través del proceso de **fecundación**. Por lo general, los gametos se forman en dos progenitores diferentes (uno masculino y el otro femenino) pero en algunas ocasiones un solo progenitor puede aportar ambos gametos. (**Hermafroditismo**)

En el caso de los humanos, el gameto masculino es el espermatozoide, el gameto femenino es el óvulo y el óvulo fecundado es el cigoto. La descendencia producida por vía sexual no es genéticamente idéntica a los progenitores, por lo cual es posible que algunos hijos puedan sobrevivir a condiciones adversas del entorno que cualquiera de sus padres; en cambio otros, con una combinación de rasgos diferentes pueden ser menos capaces de sobrevivir (Berstein y Berstein, 1998).

### 2.1.7 Adaptación

Los seres vivos tienen la capacidad de adaptarse a su entorno, entendiéndose por

**adaptación** cualquier cambio en la estructura, fisiología o hábitos de comportamiento que le permiten a un organismo valerse de los recursos ambientales para aumentar las posibilidades de supervivencia. La adaptación efectiva hace que el organismo viva más y deje mayor descendencia. Las adaptaciones se pueden agrupar en tres categorías principales: **morfológicas**,



**fisiológicas** y de **comportamiento**.

**Figura 2.6** Esquema del proceso de fecundación en humanos.

**Adaptaciones morfológicas.** Son las que conllevan variaciones en la estructura de los organismos (su anatomía) y por su vistosidad son las más sobresalientes. En los animales de un zoológico se puede apreciar la gran variedad de adaptaciones morfológicas. Es relativamente sencillo establecer la relación entre dientes y alimentación, entre extremidades inferiores y locomoción, entre color de la piel y hábitat original.

Numerosas adaptaciones morfológicas en los animales sirven para obtener el alimento. Por ejemplo, el oso hormiguero posee una larga, delgada y pegajosa, lengua que le permite introducirla dentro del hormiguero, atraer las hormigas y consumirlas para su alimentación (Oram *et al*, 1983).

**Adaptaciones de comportamiento.** Comprenden el conjunto de reacciones ante el entorno que les permiten a los organismos mejorar las oportunidades de supervivencia y de reproducción. Las migraciones de las aves, la búsqueda y almacenamiento de nueces por las ardillas, la capacidad que tienen los perros de

cacería de seguir las huellas de su presa son algunos ejemplos de adaptaciones de comportamiento.

Por otra parte, y en consideración de su duración o permanencia las adaptaciones pueden ser temporales o permanentes. Las **adaptaciones temporales** son cambios que los organismos individualmente considerados presentan durante el curso de su vida y pueden ser de tres tipos:

- a) Cambios efímeros reversibles
- b) Cambios del desarrollo
- c) Cambios cíclicos.

<b>Animales</b>		<b>Plantas</b>	
<i>Homo sapiens</i> (Hombre)	46	<i>Phaseolus vulgaris</i> (Frijol)	22
<i>Pan troglodytes</i> (Chimpancé)	48	<i>Zea mays</i> (Maíz)	20
<i>Macaca mulatta</i> (Mono rhesus)	48	<i>Solanum tuberosum</i> (Papa)	48
<i>Equus caballus</i> (Caballo)	64	<i>Solanum lycopersicum</i> (Tomate)	24
<i>Capra hircus</i> (Cabra)	60	<i>Nicotiana tabacum</i> (Tabaco)	48
<i>Equus asinus</i> (Asno)	62	<i>Oryza sativa</i> (Arroz)	24
<i>Canis familiaris</i> (Perro)	78	<i>Gossypium hirsutum</i> (Algodón)	52
<i>Felis domesticus</i> (Gato)	38	<i>Cucumis sativus</i> (Pepino)	14
<i>Mus musculus</i> (Ratón doméstico)	40	<i>Pisum sativum</i> (Arveja)	14
<i>Gallus domesticus</i> (Gallo)	78	<i>Brassica oleracea var capitata</i> (Repollo)	18
<i>Columba livia</i> (Paloma)	80	<i>Hordeum vulgare</i> (Cebada)	14

<i>Meleagris gallopavo</i> (Pavo)	82	<i>Triticum aestivum</i> (Trigo)	42
<i>Rana pipiens</i> (Rana)	26	<i>Raphanus sativus</i> (Rábano )	18
<i>Asterias forbesi</i> (Estrella de mar)	36	<i>Carica papaya</i> (Papaya)	18
<i>Bombyx morio</i> (Gusano de seda)	56	<i>Avena sativa</i> (Avena)	42
<i>Musca doméstica</i> (Mosca)	12	<i>Saccharum officinarum</i> (Caña de azúcar)	80
<i>Drosopilla melanogaster</i> (Mosca de la fruta)	8	<i>Coffea arabica</i> (Café)	4n=44
<i>Culex pipiens</i> (Mosquito)	6	<i>Ascaris univalens</i> (Lombriz del caballo)	2

**Tabla 2.1** Dotación cromosómica (2n) en algunas especies.

**Cambios efímeros, reversibles** son características de numerosos procesos y sistemas orgánicos. Por ejemplo, la temperatura corporal de las personas es de 37° C en promedio, pero con frecuencia oscila un grado más o menos dependiendo de la hora diaria, del esfuerzo físico realizado y aún de sus estados emocionales. En las hembras, cuando ponen huevos se detecta generalmente un cambio de temperatura. La presión arterial fluctúa rítmicamente con las palpitations del corazón y cambia con las emociones, tales como la excitación y el miedo.

Los **cambios de desarrollo** constituyen alteraciones de forma y funciones que ocurren sucesivamente y por lo general en lapsos definidos. La metamorfosis de un insecto, la menopausia femenina, la maduración de los frutos son algunos ejemplos de cambios en el desarrollo.

Los **cambios cíclicos** están asociados a fluctuaciones periódicas de las condiciones ambientales del hábitat de una especie, tales como la alternación diaria de luz y oscuridad. La mayoría de los cambios cíclicos tienen origen astronómico. Las fases de la luna, el flujo y reflujo de las mareas, la sucesión de las estaciones en las zonas templadas y árticas son todos ejemplos de ciclos

astronómicos con tremendo impacto biológico. Las actividades reproductivas de numerosos organismos están sincronizadas por ciclos solares y lunares. Otros cambios biológicos cíclicos son la migración de las aves y el desplazamiento de las ballenas jorobadas.

Las **adaptaciones permanentes o evolutivas** no son cíclicas ni se pueden predecir y ocurren en determinadas especies a través de muchas generaciones. Entre los mamíferos, por ejemplo, el gato, el perro, el asno están adaptados para vivir en tierra firme; otros como la ballena y el delfín se adaptaron para una existencia completamente acuática y otros están adaptados para vivir en los árboles como los monos. Cada especie está especializada para vivir en determinado ambiente. Este tipo de adaptación se alcanza de una manera muy diferente a la adaptación individual, es decir, se transmite de un organismo a otro dentro de una especie. Tales adaptaciones se desarrollan a partir de *mutaciones* (cambios permanentes en el gen o en el cromosoma) que ocurren al azar y por acción de la selección natural (Bernstein Y Bernstein, 1998).

## 2.2. NIVELES DE ORGANIZACIÓN

Por regla general, los seres vivos han evolucionado de lo simple a lo complejo y sin importar si se considere un individuo o un grupo de individuos, puede identificarse un patrón de creciente complejidad.

### 2.2.1. Organización química

El **químico** es el nivel de organización más sencillo. Todos los seres vivos están compuestos de los mismos elementos que se encuentran en el resto del planeta.

En la naturaleza existen **92 elementos básicos** (sodio, cloro, aluminio) y **15 o más sintéticos**, es decir, que han sido creados en el laboratorio. Todos los elementos sintéticos son inestables y duran poco tiempo, pronto revierten en uno u otro de los 92 elementos básicos. Agrupados juntos, los elementos forman la **Tabla Periódica**. (Ver Figura 2.7).

El **átomo** es la unidad mínima de un elemento químico (sustancia fundamental) que posee las propiedades características de dicho elemento. Por ejemplo, un átomo de cobre es la menor continuidad posible de este elemento. Los átomos se combinan químicamente en **moléculas**; de este modo, dos átomos de hidrógeno se combinan con uno de oxígeno y forman una molécula de agua. La vida evolucionó a partir de átomos y moléculas.

A nivel molecular comienzan a surgir las diferencias entre los seres vivos y las sustancias inertes. En ningún caso se encontrará una roca constituida por ácidos nucleicos, proteínas, carbohidratos y lípidos. En la naturaleza, solo las células contienen estas moléculas como se tratará más adelante. La molécula característica de la célula (la unidad más pequeña que tiene capacidad de vida) es el **ácido desoxirribonucleico o ADN**. Ningún trozo de barro o de piedra contiene esta sustancia (Starr y Taggart, 2004).

**TABLA PERIODICA**  
Pasa el mouse sobre cada elemento.

Metales alcalino y alcalinotérreos		Metales en transición	
No metales		Gases nobles	

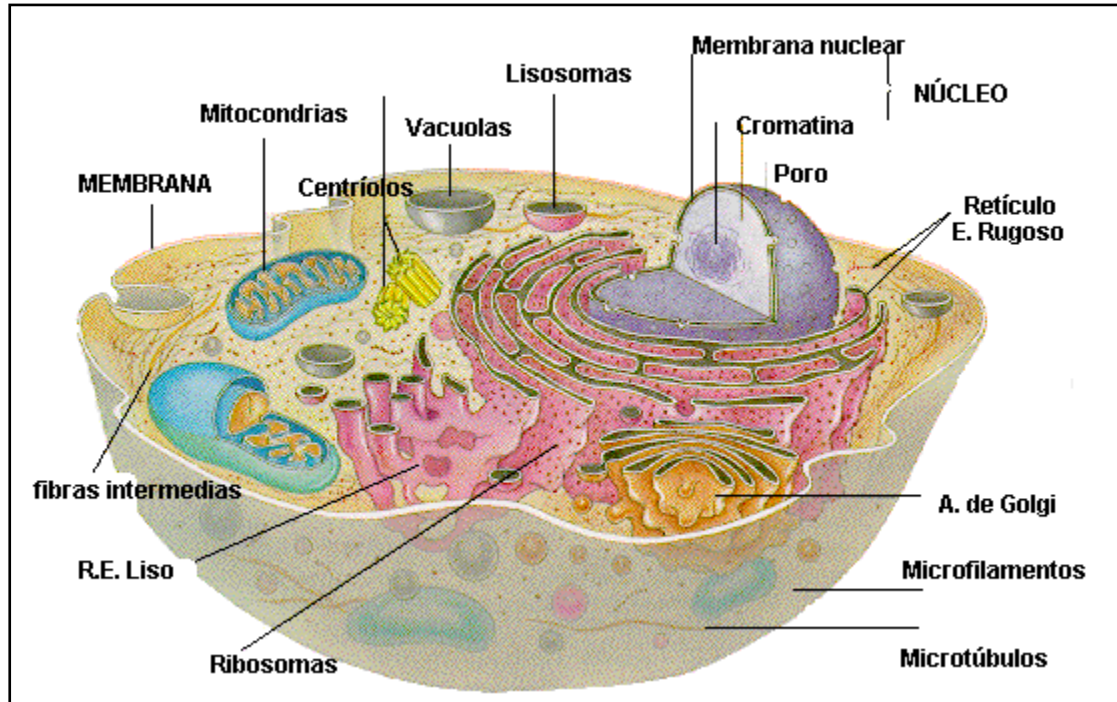
<b>1A</b>																				<b>0</b>	
H	<b>2A</b>																				He
Li	Be																				Ne
Na	Mg	<b>3B</b>	<b>4B</b>	<b>5B</b>	<b>6B</b>	<b>7B</b>	<b>8B</b>	<b>8B</b>	<b>8B</b>	<b>1B</b>	<b>2B</b>										Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br					Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I					Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At					Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt													
<b>LANTANIDOS</b>		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
<b>ACTINIDOS</b>		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr						

Figura 2.7 Tabla periódica de los elementos.

### 2.2.2. Organización celular

Uno de los principios fundamentales de la biología afirma que la célula es la unidad funcional y estructural de todos los seres vivos, es decir, la parte más sencilla de materia viva que puede realizar todas las actividades necesarias para

la vida. Este principio se conoce como **teoría celular** y fue el resultado de numerosas investigaciones realizadas por Matthias Schleiden, Theodor Schwann y Rudolf Virchow en el siglo XIX.

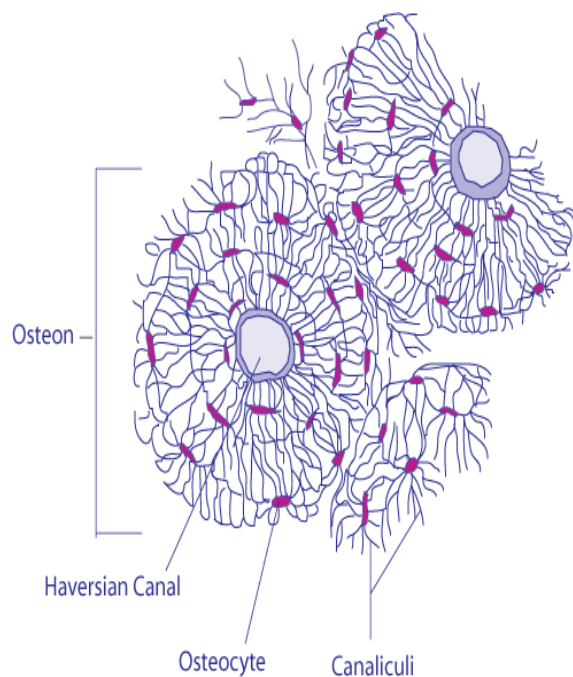


**Figura 2.8** Estructura de la célula animal. La célula es la unidad estructural y funcional de todos los organismos vivos. Tomado de Avers, 1994

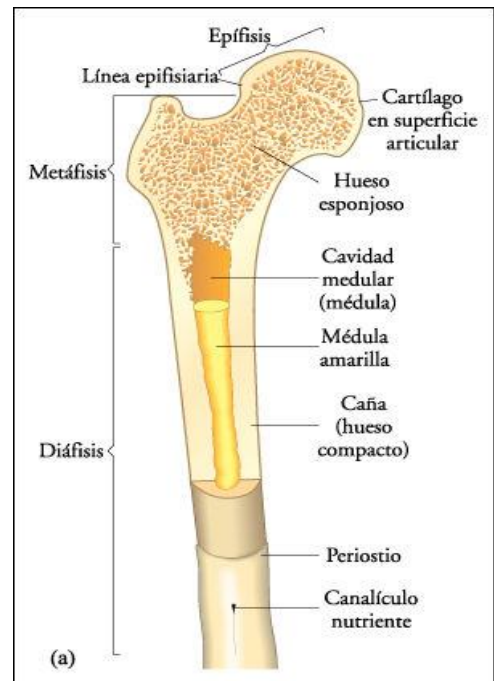
La teoría celular se puede resumir en los siguientes principios:

- Todos los organismos están formados por una o más células.
- La célula es la unidad estructural y funcional de los organismos.
- Las células provienen, por reproducción, de otras preexistentes.

En la mayor parte de los organismos multicelulares las células se organizan en **tejidos** o grupos de células similares en estructura y especialización para una función particular. El óseo y el muscular en los Humanos son ejemplos de tejidos. De manera semejante los tejidos están dispuestos en estructuras funcionales, llamadas **órganos**, como el corazón o los pulmones en animales o las raíces y las hojas en las plantas. Cada grupo principal de funciones biológicas se ejerce por un grupo coordinado de tejidos y órganos, llamado **sistema** o **aparato orgánico**. Los sistemas o aparatos orgánicos funcionan juntos de manera coordinada con gran precisión y constituyen el complejo **organismo multicelular** o individuo. Ejemplo: sistema o aparato urinario (Ver Figura 2.9) (Solomon *et al*, 2011).



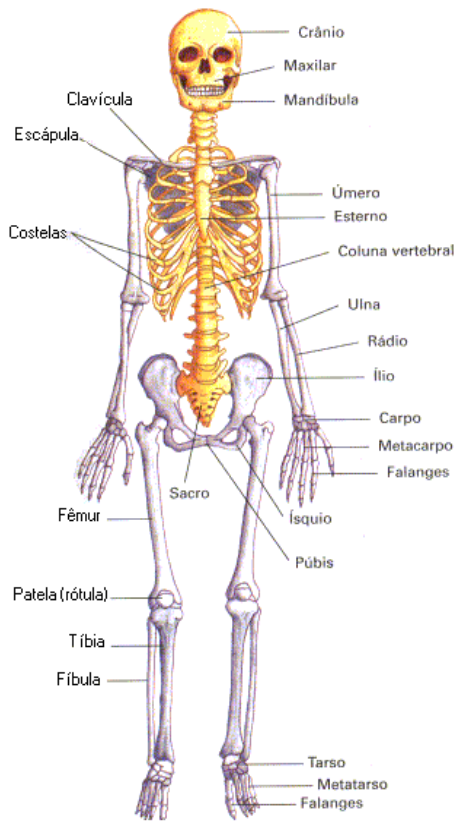
a) Estructura de una célula ósea



b) Morfología de un hueso

**Figura 2.9** Organización celular de un ser humano. La unidad estructural y funcional de un individuo es la célula. Ejemplo, un osteocito. Las células se agrupan para formar un tejido. Ejemplo: tejido óseo. Los tejidos con la misma función forman órganos y





c) Sistema esquelético del hombre.

#### PARTÍCULA SUBATÓMICA

Electrones, protones, neutrones o cualquier otra unidad fundamental de la materia.

#### BIOSFERA

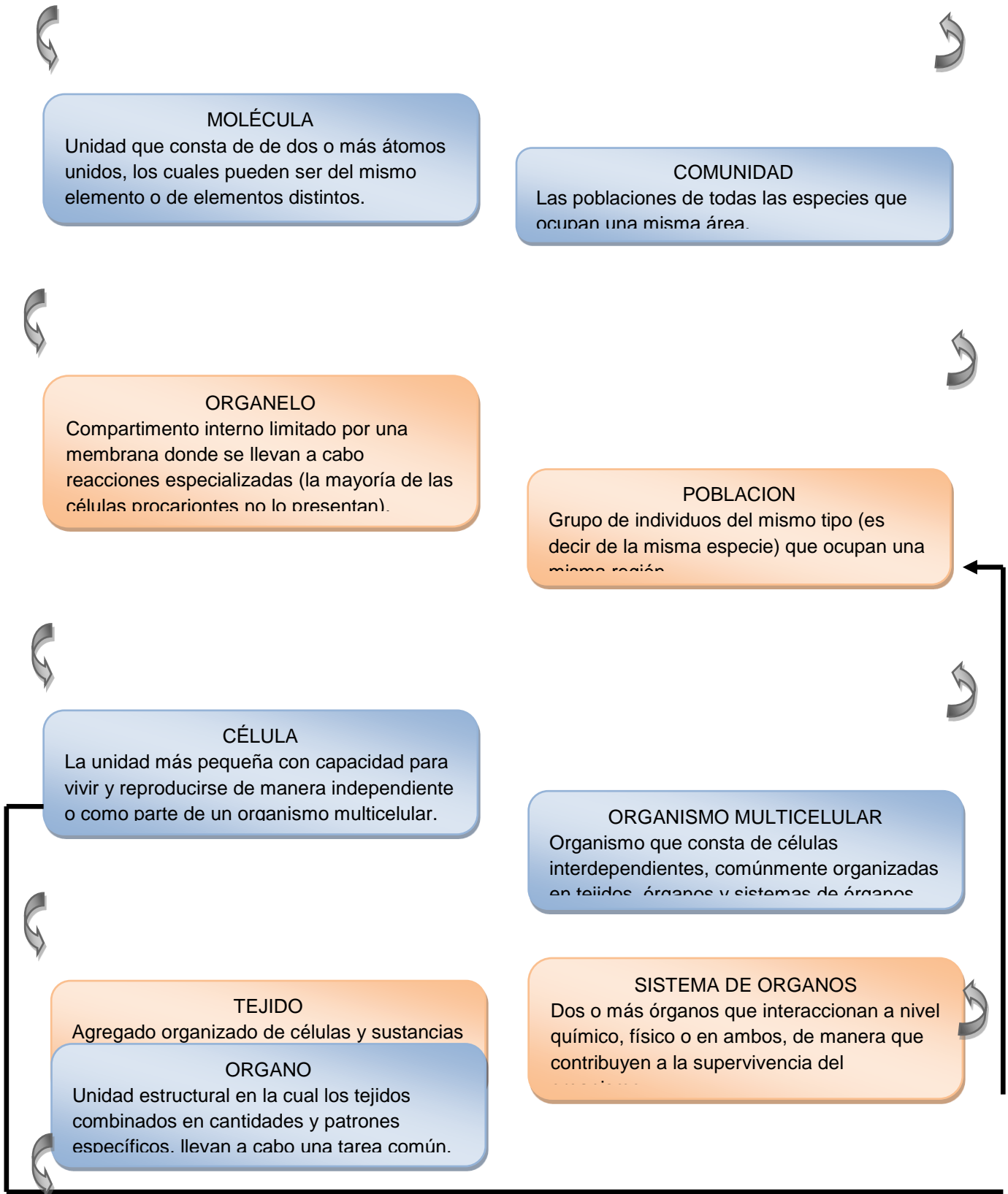
Todas las regiones de la corteza terrestre, las aguas y la atmósfera que sostienen la vida.

#### ATOMO

La unidad más pequeña de un elemento (una sustancia fundamental) que aún mantiene las propiedades de dicho elemento.

#### ECOSISTEMA

La comunidad y su medio ambiente físico.





**Figura 2.10** Niveles de organización de los seres vivos.

### 2.2.3 Organización ecológica

Los organismos interactúan para formar niveles todavía más complejos de organización biológica. La **ecología** estudia las relaciones entre los seres vivos y su ambiente. El ambiente de un organismo lo constituyen los factores vivos y no vivos que rodean el organismo. Los **factores abióticos** (no vivos) incluyen factores físicos como la temperatura, el agua, la luz y los minerales. Los **factores bióticos** son los seres como los animales, las plantas y los microorganismos.

La interacción es el fundamento de la ecología. Todo lo vivo y lo no vivo se afecta mutuamente de tal forma que todos necesitan de todos. Por ejemplo, las plantas necesitan agua para crecer y proporcionan sombra. Las áreas sombreadas están más frescas y húmedas. Cuando las plantas perecen y se descomponen, su materia orgánica va al suelo lo cual permite retener más agua (Audersik y Audersik, 2006).

### 2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

La biología mantiene estrecha relación con la taxonomía o estudio de la nomenclatura y clasificación de los organismos. Aunque existen millones de seres vivos, ninguno de ellos tiene pegado de manera natural un “letrero” en el que aparezca su nombre y las relaciones evolutivas y ecológicas con los demás seres vivos; por tanto corresponde al criterio humano el diseño de un sistema que le

permita descifrar el orden que existe dentro de la diversidad de la vida.

¿Cuáles son los criterios para colocar a los seres vivos en diferentes categorías?  
¿Se agruparían los insectos, murciélagos y aves en una misma categoría (porque tienen alas y vuelan) y los róbalos, delfines, focas y tortugas en otra (porque nadan)? ¿O se clasificarían los organismos según su valor alimenticio, poniendo la lechuga y la habichuela en una misma categoría, y cuyo encabezado fuera por ejemplo “verduras”? Desde luego todos estos sistemas son válidos, sólo dependen de los términos de referencia que tenga el taxónomo al clasificar los seres vivos.

Clasificar consiste en reunir en categorías aquellas cosas semejantes entre sí. Aunque esto parece sencillo, en la práctica puede resultar difícil; en primer lugar es preciso escoger que clases de similitudes son las más importantes para el propósito fijado. Por ejemplo, Aristóteles (384 – 322 a.C.) creía que todos los seres vivos podían agruparse en dos grandes reinos: vegetal y animal; suponía que las diferentes clases de animales y vegetales eran inmutables o fijas y cada uno era producto de la creación divina (Doolittle, 2000).

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>PROCARIOTA</b>	<b>EUCARIOTA</b>
Tamaño celular	En general pequeño (1 – 10 $\mu\text{m}$ )	En general de mayor tamaño (10 – 100 $\mu\text{m}$ )
Material genético	ADN no asociado con proteínas en los cromosomas.  Nucleoide sin membrana.	ADN asociado con proteínas en los cromosomas.  Núcleo delimitado por membrana.

Membranas internas (organelos)	Transitorias si llegan a estar presentes.	Numerosos tipos y diferenciaciones; por ejemplo: mitocondrias, lisosomas, cloroplastos etc.
División celular	Fisión binaria, gemación u otras; ausencia de mitosis.	Diversas formas asociadas con la mitosis.
Nutrición	Principalmente absorción, algunos fotosintetizadores o quimiosintetizadores.	Absorción, ingestión, fotosíntesis.

**Tabla 2.2** Algunas diferencias entre organismos procariotas y eucariotas.

San Agustín en el siglo IV clasificó los animales en tres grupos: útiles, dañinos y superfluos, desde luego desde el punto de vista humano. Los botánicos de la edad media clasificaban las plantas en función de su producción: frutas, vegetales, fibras o maderas.

El sistema de clasificación que se usa en la actualidad tuvo sus comienzos en el siglo XVIII con el trabajo del naturalista sueco Carlos Linnaeus (Linneo) y a él se le considera el padre de la taxonomía; él catalogó y clasificó los organismos vivos que en su época eran visibles a simple vista. Su investigación la dio a conocer por medio de dos obras: **Species Plantarum** (1753) y **Sistema Naturae** (1758). Aunque Linneo y sus colaboradores no tenían conocimiento alguno del inmenso número de microorganismos descubiertos con ayuda del microscopio (recién inventado) y de los organismos extintos en épocas prehistóricas, el sistema de clasificación propuesto por Linneo se ha mantenido durante largo tiempo.

### 2.3.1 Categorías taxonómicas. Concepto de especie

La especie era (y es) la unidad básica del sistema de clasificación de Linneo. Resulta muy difícil definir ese término de tal forma que se aplique de manera uniforme en todo el mundo biótico, pero una especie puede ser definida como una “población activa de organismos semejantes en sus características estructurales,

fisiológicas y de comportamiento que en la naturaleza sólo se reproducen por apareamiento entre ellos y que comparten una ascendencia común”.

Este concepto “multidimensional” de especie no es útil cuando se trata de organismos procariontes, los cuales no forman poblaciones reproductivamente aisladas de individuos que se reproducen entre sí. Cada célula procarionte por lo general se reproduce por sí sola. Además, estas células no presentan variaciones significativas en sus rasgos que por lo general están determinadas por pocos genes (Doolittle, 2000).

Para agrupar los organismos se emplean una sucesión ordenada de categorías taxonómicas. Estas categorías o **taxa** (singular taxón) son las siguientes: **especie, género, familia, orden, clase, phylum** (división), **reino y dominio**.

Las especies íntimamente emparentadas se agrupan en la siguiente unidad superior de clasificación: el **género**. Los distintos géneros se agrupan también, con base en las semejanzas estructurales, bioquímicas y de otros tipos para integrar una **familia**. Las familias se agrupan para formar **órdenes**, los órdenes componen **clases** y las clases forman **divisiones** - en el caso de las plantas y los hongos o **phyla** (singular de *phyllum*) cuando se trata de animales y protistas. Los taxa superiores son el **reino** y el **dominio**.

Esta ordenación jerárquica contiene las principales categorías de clasificación de los seres vivos. En algunos casos, especialmente con grupos muy extensos, se emplean categorías en las cuales se adicionan los sufijos “sub” o “súper” a las categorías mencionadas. Por ejemplo, subgénero, superfamilia. También se encuentran otras categorías como tribu, tipo y similares. Los niveles entre los géneros y el reino son agrupaciones estrictamente artificiales de organismos con características similares: no hay definición biológica para estas categorías.

La especie es la unidad fundamental de clasificación, aunque no es en realidad la unidad más pequeña que existe. Hay poblaciones de una sola especie que, por estar geográficamente separadas, presentan a menudo algunas características uniformes que las distinguen de las demás poblaciones de la misma especie. Si esas poblaciones no son un grupo reproductivamente aislado, no se trata en realidad de especies distintas, sino de **variedades, razas o subespecies**. Las

diferencias de morfología, fisiología y comportamiento entre los individuos de razas distintas pueden ser acentuadas como en el caso de las razas equinas Percherón y Poni o ser inconspicuas como en las aves. Sin embargo, la raza es una subdivisión de la especie y por consiguiente los individuos pertenecientes a razas distintas pueden aparearse y producir descendencia fértil (Mader, 2008).

Cuando se trata de microorganismos (bacterias, hongos, algas, protozoos u otras formas más complejas) no suele ser práctico trabajar con un microorganismo aislado. Por esta razón se estudian **cultivos** que contienen millares o millones de microorganismos. Un cultivo que consta de una sola especie de microorganismos vivos, independientemente del número de individuos, en un medio libre de otras especies de microorganismos vivos, se denomina **cultivo axénico**, pero los microbiólogos lo llaman por costumbre **cultivo puro**, aunque en un sentido estrictamente técnico, un cultivo puro es aquel que se desarrolló a partir de una célula única y por lo tanto implica pureza genética. Cuando dos o más especies de microorganismos se desarrollan juntas, como suele ocurrir en la naturaleza, se obtiene un **cultivo mixto**.

Es conveniente mencionar el concepto de **cepa**, como origen o procedencia. La cepa es una especie bacteriana, o viral, aislada de algún individuo, con alguna característica diferencial y que puede propagarse a otros individuos (Kimball, 1996).

### 2.3.2 Sistemas de clasificación

Desde la época aristotélica hasta mediados del siglo XX, los biólogos reconocieron solo dos reinos: el reino **Plantae** (plantas) y el reino **Animalia** (animales). Las plantas eran organismos literalmente sembrados e inmóviles, mientras que los animales tenían movimiento y se desplazaban.

Después que el microscopio óptico se perfeccionó a principios del siglo XVI, se descubrieron organismos unicelulares que no encajaban bien ni en el reino vegetal ni en el animal. En el siglo XIX, un científico alemán Erns Haeckel, propuso agregar un tercer reino, el **Protista**. El reino Protista (protistas) incluía organismos microscópicos unicelulares pero no los que en su mayoría eran macroscópicos y multicelulares.

En 1969, R. H. Whittaker amplió el sistema de clasificación a cinco reinos: Mónera, Protista, Fungi, Plantae y Animalia. Los organismos se ubicaron en estos reinos con base en un tipo celular (procariota o eucariota), complejidad (unicelular o multicelular), y tipo de nutrición. El reino Mónera agrupaba a todos los organismos que carecen de núcleo limitado por una membrana. Como grupos, estos organismos unicelulares reciben el nombre de **bacterias**. Los otros cuatro reinos comprenden a los eucariotas, los cuales se analizarán más adelante. No obstante, se hace notar que Whittaker fue el primero en dotar a los hongos de su propio reino: el Fungi. Hizo esto debido a que los hongos son por lo general multicelulares, aunque son heterótrofos por absorción. Por supuesto, las plantas son fotosintetizadoras mientras que los animales son heterótrofos por ingestión (Doolittle, 2000)

### 2.3.3 Fundamentos de la clasificación contemporánea

En el pasado, los biólogos dependían principalmente del registro fósil y de los datos anatómicos comparativos entre los organismos para descifrar las relaciones evolutivas y desarrollar un sistema natural de clasificación en lugar de uno artificial. La biología contemporánea se basa cada vez más en los datos moleculares para determinar relaciones evolutivas y, por consiguiente, el resultado ha sido una revolución en la forma de clasificar los seres vivos (Mader, 2008).

La clasificación basada en datos moleculares ofrece varias ventajas. Las diferencias anatómicas específicas ocurren sólo en ciertos grupos de organismos, pero el ADN es el material genético de todos los organismos conocidos. Por tanto, las diferencias en el ADN se pueden usar para determinar la relación evolutiva entre dos especies cualesquiera: entre una bacteria y un humano o entre un paramecio y un hongo. Ahora es fácil obtener el ADN de un organismo, y los datos moleculares son casi infinitos, debido a que cada posición del nucleótido en una secuencia de ARN o ADN representa una posible diferencia entre las especies.

Incluso se ha sugerido que, tal como los supermercados utilizan códigos de barras

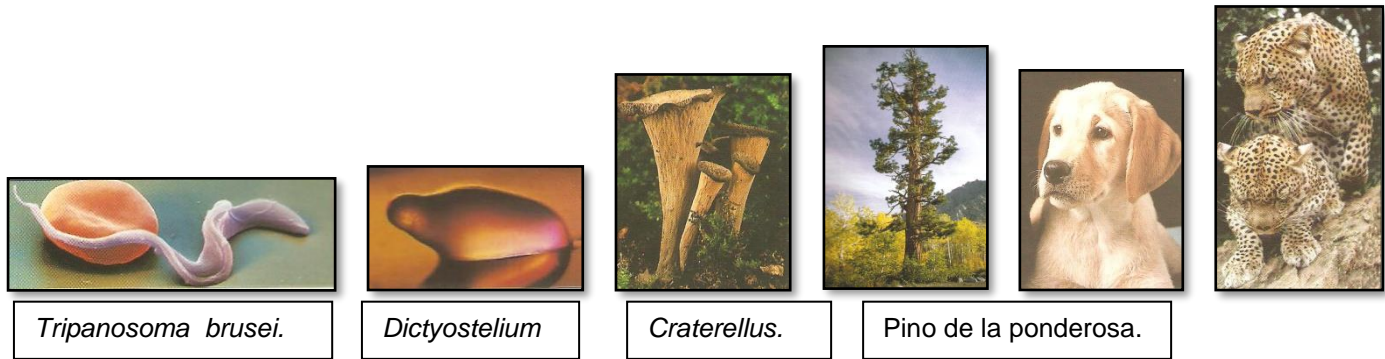


para identificar productos, sería posible crear un “código de barras” basado en las diferencias de ADN de cada especie en la Tierra. Un biólogo en el campo ya no tendrá que usar tan solo las características anatómicas correctas para identificar una especie. Solo requerirá una muestra de ADN, de un organismo por ejemplo, para identificar la especie a que pertenece.

#### **2.3.4 Clasificación de Woese**

A finales de la década de 1970, Carl Woese y sus colegas de la Universidad de Illinois al estudiar las relaciones entre los procariotas mediante secuencias de ARNr encontró que la secuencia de ARNr en los procariotas que viven en hábitats con temperaturas altas o que producen metano es muy diferente a la secuencia de ARNr de los demás tipos de procariotas y eucariotas. Por tanto, propuso que había dos grupos de procariotas a los que denominó **Bacterias y Archeobacterias**. Además Woese afirmó que las secuencias de ARNr de estos dos grupos son tan diferentes unos de otros que debían asignarse a **dominios** separados, es decir, una categoría de clasificación superior que la categoría de reino.

La mayoría de los biólogos en la actualidad favorece el sistema de clasificación de tres dominios: Bacteria, Archaea y Eukarya (Starr y Taggart, 2004).



PROTISTAS

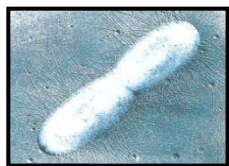
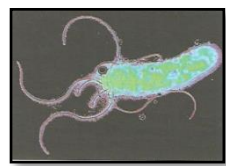
HONGOS

PLANTAS

ANIMALES



EUCARIOTAS



*Helicobacter pylori.*     *Escherichia coli.*

ARQUEOBACTERIA

EUBACTERIAS

Origen de la Vida

**Figura 2.11** Clasificación de los seres vivos según Carl Woese. Comprende tres dominios: Bacteria, Archaea y Eucarya. El dominio Bacteria incluye el reino de las Eubacterias. Son organismos procariotas tales como las Cianobacterias. El dominio Archaea incluye el reino de las Archeobacterias. Son organismos procariotas en las que se encuentran las bacterias metanogénicas. El dominio Eucarya comprende los reinos Protista, Fungi, Plantae y Animalia abarca todos los organismos Eucariotas.

**Dominio Bacteria.** Comprende el reino Eubacteria representado por las cianobacterias, actinobacterias y mixobacterias. Las **cianobacterias** comprenden un grupo de organismos tan diversificado y abundante que se encuentra en casi todo el planeta. Las cianobacterias son organismos que realizan la fotosíntesis de la misma manera que las plantas en cuanto utilizan la energía solar para transformar el bióxido de carbono y agua en carbohidratos y en el proceso de liberación de oxígeno. De hecho, es probable que la cianobacteria haya sido el primer organismo en desprender oxígeno a la atmósfera primitiva de la Tierra, con lo que se convirtió en un lugar habitable para la evolución de los organismos que requieren este elemento, como los animales.

Entre las bacterias podemos encontrar todos los medios de nutrición, pero la mayoría son heterótrofas. La ***Escherichia coli***, que habita en el intestino humano, es heterótrofa, como lo son las formas parasitarias que ocasionan las enfermedades humanas. ***Clostridium tetani*** (causante del tetános), ***Bacillus anthracis*** (causante del ántrax) y ***Vibrio cholerae*** (causante del cólera) son especies de bacterias causantes de enfermedades. Las bacterias heterótrofas son benéficas en los ecosistemas debido a que son organismos de descomposición que degradan los restos orgánicos y absorben las moléculas de nutrientes junto con los hongos, mantienen los ciclos químicos en acción de manera que las plantas siempre tengan una fuente de nutrientes orgánicos.

**Dominio Archaea.** Al igual que las bacterias, las arqueobacterias son organismos unicelulares procariontes que se reproducen de manera asexual. La arqueobacteria no parece distinta a las bacterias en el microscopio y las condiciones extremas bajo las que muchas especies viven ha hecho difícil su cultivo. Esto pudo haber sido la razón de que se ignorara durante mucho tiempo su lugar único entre los organismos.

La arqueobacteria vive en todo tipo de ambientes, pero se conoce por proliferar en ambientes externos supuestamente similares a los de la Tierra primitiva. Por ejemplo, las metanógenas habitan en ambientes anaeróbicos, como pantanos y ciénagas y en los intestinos de los animales; las halófilas habitan en cuerpos de agua salada como en la ciénaga de Santa Marta; y las termoacidófilas se adaptan a las temperaturas altas y a los ácidos. Estas arqueobacterias habitan en ambientes extremadamente calientes y ácidos, como los manantiales termales y géiseres (Madigan y Mairs, 1997).

DOMINIO	REINO	TIPO CELULAR	NOMBRE COMÚN
Bacteria	Eubacterias	Procariotica	Actinobacterias Mixobacterias Cianobacterias
Archaea	Arqueobacterias	Procariotica	Bacterias matanogénicas Bacterias halófilas Bacterias termófilas
Eukarya	Protista	Eucariotica	Algas, protozoos

**Tabla 2.3** Clasificación de los seres vivos propuesta por Carl Woese.

**Dominio Eukarya.** Los eucariotas son organismos unicelulares o multicelulares cuyas células tienen un núcleo delimitado por una membrana. La reproducción sexual es común, y observan diferentes tipos de ciclos de vida. El dominio Eukarya comprende los siguientes reinos: Protista, Fungi, Plantae y Animalia.

**Protista.** Constituyen un grupo diverso de organismos cuya clasificación y definición es difícil. Son eucariotas y principalmente unicelulares, pero algunos son filamentosos, colonias o láminas multicelulares. Aún así, los protistas no tienen tejidos verdaderos. La nutrición es diversa y algunos son heterótrofos por ingestión o absorción y algunos son fotosintéticos. El alga verde, los paramecios, y los mohos de fango son protistas representativos. Algunos textos reconocen varios reinos diferentes para estos organismos en lugar de uno solo, el protista.

**Fungi.** Los hongos son eucariotas que forman esporas, carecen de flagelos y tienen paredes celulares que contienen quitina. Son multicelulares con algunas excepciones. Los hongos son heterótrofos por absorción, es decir, secretan enzimas digestivas y después absorben los nutrientes de la materia orgánica en descomposición. Los hongos, mohos y levaduras son representativos del reino Fungi. A pesar de las apariencias, los datos moleculares indican que los hongos y

los animales tienen una mayor relación entre sí que cualquiera de ellos con las plantas.

**Plantae.** Las plantas son organismos eucariotas multicelulares sin movilidad. Poseen tejidos verdaderos y tienen una organización de sistemas de órganos. Las plantas son autótrofas y realizan la fotosíntesis. Los ejemplos incluyen mangos, guanábanos y tamarindos, helechos y pastos.

**Animalia.** Los animales son organismos eucariotas multicelulares con movimiento. También tienen tejidos definidos y un nivel de organización de sistema de órganos.

Son heterótrofos por ingestión. Los burros, vacas, perros y zancudos son ejemplos de animales (Fried, 1990).

**Virus.** Un virus se considera actualmente como una partícula infecciosa no celular, constituida de ADN o ARN y una cubierta proteica y, en algunos, una envoltura externa de lípidos. Puede replicarse solo después de que su material genético entra a la célula huésped y altera su maquinaria metabólica.

Los virus no están clasificados dentro de los seres vivos. Consulte la unidad 3, sección 3.5.

## 2.4 SISTEMA DE NOMENCLATURA BINOMIAL

A Linneo se le debe el haber proporcionado un sistema de nomenclatura de las especies. Es frecuente encontrar que una misma especie tiene nombres diferentes aún dentro del mismo idioma. Por ejemplo, la arveja es chícharo para los mexicanos y guisante para los españoles. El asunto se complica cuando los nombres figuran en otro idioma. El maní o cacahuate se denomina peanut (inglés), arachide (francés), aardnoot (holandés), erdnuss (alemán), amendoim (portugués). Los conocimientos biológicos, como los de cualquier otra ciencia, se logran independientemente de las fronteras nacionales. Por consiguiente, es importante que los biólogos de cada país sepan exactamente con qué organismo han estado trabajando sus colegas en otros países. El sistema de nombres científicos establecido por Linneo cumple a satisfacción con este cometido y se conoce como el **sistema binomial** de nomenclatura de los seres vivos.

De acuerdo con este sistema a cada especie se le asigna un nombre compuesto de dos palabras latinas, por ejemplo, ***Homo sapiens***. La primera palabra (Homo) corresponde al género y puede ser una palabra latina o griega, un vocablo nuevo de raíz griega, latina o el nombre latinizado de una persona. Se utiliza siempre como sustantivo latino, y puede ser masculino, femenino o neutro. La segunda palabra del nombre científico, (*sapiens*) corresponde al apelativo y generalmente describe algún carácter de la especie (Mader, 2008).

Las reglas de la nomenclatura binomial son:

- La primera palabra del nombre indica el género al que pertenece el organismo.

La primera letra del nombre del género siempre va con letra mayúscula y el resto con minúsculas.

- La segunda palabra del nombre es un apelativo y, a veces, descriptivo de la especie en particular. Se escribe con letras minúsculas.
- Las dos palabras indican la especie o el nombre científico del organismo.

Ejemplo: perro (*Canis familiaris*)

Primera palabra: *Canis* = género Segunda palabra: *familiaris* = apelativo.

Primera y segunda palabra: *Canis familiaris* = especie o denominación científica.

- El latín es el idioma que se utiliza.
- Cuando el nombre se escribe a mano se subraya. Cuando el nombre se digita se escribe en bastardillas o letra cursiva.
- El nombre de una especie se puede abreviar usando la primera letra del nombre del género y el nombre del apelativo se escribe completo, como en ***E. coli***.

- Si se identifica una subespecie o una variedad de la especie, se le añade una tercera palabra al nombre. Ejemplo, ***Citrus sinensis var Valencia***.
- Cuando no se ha determinado exactamente la especie, se debe escribir el nombre científico de la siguiente forma: se menciona el género acompañado de la sigla (sp.), que significa especie sin identificar. Ejemplo, ***Pseudomona sp.***
- Cuando existen varias especies sin identificar para un género, se debe escribir el género acompañado de la sigla (spp.), que significa varias especies sin ser identificadas. Ejemplo, ***Aortus spp.***

En el Sistema binomial de nomenclatura para los seres vivos siempre se utilizan las letras del alfabeto romano aún en publicaciones científicas de países tales como los árabes y los de Lejano Oriente, con escrituras diferentes a la occidental. En ciertos casos se indica otro nombre o inicial del taxónomo que ideó el nombre científico. Ejemplos ***Pisum sativum L***; ***Rhizoctonia solani Kuhn***.

### **Palabras claves**



Crecimiento	Morfogénesis	Regeneración
Diferenciación	Metamorfosis	Metabolismo
Dediferenciación	Estimulo respuesta	Homeostasis
Anabolia	Reproducción	Cromosomas homólogos
Catabolia	Clon	Hábitat
Haploide	Fecundación	Nicho
Diploide	Adaptación	Población
Comunidad	Procariota	Eucariota
Genoma	Virus	Bacteriófagos
Fungi	Protisto	Género
Especie	Variedad	Cultivar
Cepa	Cultivo axénico	Cultivo mixto

Nombre común	Dominio	Reino	Phyllum (División)	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Bacteria de la faringitis	Bacteria	Eubacteria	Firmicutes				<i>Streptococcus</i>	<i>S. pyogenes</i>
Bacteria del colon	Bacteria	Eubacteria	Gracilicutes				<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i>
Micoplasma (neumonía)	Bacteria	Eubacteria	Tenericutes				<i>Micoplasma</i>	<i>M. pneumoniae</i>
Bacteria halófila	Archaea	Arqueobacteria	Euryarchaeota				<i>Halobacterium</i>	<i>H. salinarum</i>
Paramecio	Eucarya	Protista	Ciliophora				<i>Paramecium</i>	<i>P. caudatum</i>
Amiba (disentería)	Eucarya	Protista	Sarcodina				<i>Entamoeba</i>	<i>E. histolytica</i>
Plasmodio	Eucarya	Protista	Sporozoa				<i>Plasmodium</i>	<i>P. vivax</i>
Moho negro de pan	Eucarya	Fungi	Zygomycota	Zygomices			<i>Rhizopus</i>	<i>R. stolonifer</i>
Levadura de la cerveza	Eucarya	Fungi	Ascomycota	Ascomycetes			<i>Saccharomyces</i>	<i>S. cerevisiae</i>
Champiñón (Comestible)	Eucarya	Fungi	Basidiomycota	Basidiomycetes	Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i>	<i>A. campestris</i>
Cafeto	Eucarya	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rubiales	Rubiaceae	<i>Coffea</i>	<i>C. arabica</i>
Araucaria	Eucarya	Plantae	Pinophyta	Pinophyta	Coniferales	Araucariaceae	<i>Araucaria</i>	<i>A. excelsa</i>

Maíz	Eucarya	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Cyperales	Poaceae	<i>Zea</i>	<i>Z. maíz</i>
Tenia (Lombriz solitaria)	Eucarya	Animalia	Platyhelminthes	Cestoda	Ciclophyllidea	Tenidae	<i>Taenia</i>	<i>T. solium</i>
Mosca de la fruta	Eucarya	Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Drosophilidae	<i>Drosophila</i>	<i>D. melanogaster</i>
Perro	Eucarya	Animalia	Chordata	Mammalia	Carnívora	Canidae	<i>Canis</i>	<i>C. familiaris</i>

**Tabla 2.4** Clasificación de algunas especies de organismos vivos (según Woese).

## BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDER, Peter *et al.* 2002. Biología New Jersey (USA): Prentice Hall. Mc Graw-Hill.

AUDERSIK, Teresa y Gerald AUDERSIK, 2006. Biología. La vida en la tierra. 4<sup>a</sup> ed. México: Prentice – Hall Hispanoamericana.

AVERS, Charlotte. 1994. Biología celular. México: Iberoamericana.

BERNSTEIN, Ruth y Stephen BERNSTEIN. 1998. Biología. 10a ed. Bogotá: Mc Graw-Hill

DOOLITTLE, W. Ford. 2000. Nuevo árbol de la vida. Investigación y Ciencia. Barcelona. Abr. p 26-32.

FRIED, George A. 1990. Biología. México: Mc Graw-Hill Interamericana.

GARRIDO PERTIERRA, Armando. 1991. Fundamentos de Química y Biología. Madrid: Mc Graw-Hill.

KIMBALL, Jhon. 1996. Biología 5a ed. USA. Addison Wesley Iberoamericana.

MADER, Sylvia. 2008. Biología 9a edición. México. Mc Graw-Hill.

MADIGAN, Michael T. y Barry L. MARRS. 1997. Extremófilos. Investigación y Ciencia. Barcelona, jun p 60-66.

ORAM R. F. *et al.* 1983. Biología. Sistemas vivientes. Mexico: CECSA

OVERMIRE, Thomas G. 2009. Biología. México: Limusa.

PURVES, William K *et al.* 2001. Life. The science of Biology. 6a ed. USA. Sinauer Associates.

SOLOMON, Eldra Pearl *et al.*, 2011. Biología de Villée. 8<sup>a</sup> ed. Mexico: Interamericana McGraw-Hill.

STARR, Cecie y TAGGAR T, Ralf. 2004. Biología. 10a ed. México: Thompson.



---

## INTRODUCCION.

Debido a su reducido tamaño, las células solo pudieron ser observadas con la invención del microscopio. El descubrimiento de las células se acredita por lo general a Robert Hooke, un microscopista inglés hacia 1665. Hook notó que al observar con un microscopio primitivo un corte de corcho, éste presentaba una “apariencia porosa...muy semejante a un panal de abejas”.

La aplicación de la microscopía al estudio de los materiales biológicos a lo largo de los 200 años siguientes reveló que todos los organismos observables estaban formados por células. Sin embargo, la idea de que la célula es la *unidad estructural básica* de todos los organismos no fue propuesta formalmente sino hasta 1839 por Matthias Schleiden y Theodor Schwann, investigadores alemanes, quienes establecieron los dos principios básicos de la teoría celular:

- Todos los organismos están compuestos de una o más células.
- La célula es la unidad estructural de la vida.

Sin embargo, las ideas de Schleiden y Schwann sobre el origen de las células fueron equivocadas, puesto que ambos sostenían que las células se podían originar de la materia inerte (generación espontánea).

Para 1855, el patólogo alemán Rudolf Virchow había formulado un argumento convincente para el tercer postulado de la teoría celular. Las células sólo pueden originarse por división de una célula preexistente.

Los organismos que poseen más de una célula se conocen como **multicelulares**, y los formados por una sola célula se llaman **unicelulares**, los cuales son por necesidad bioquímicamente complejos. Una bacteria necesita efectuar *todas* las operaciones bioquímicas relacionadas con el mantenimiento y reproducción del organismo.

En los organismos multicelulares, las células individuales pueden estar especializadas en un número restringido de actividades. Esta especialización aumenta la eficiencia. Las células individuales de los organismos multicelulares son bioquímicamente más simples que las de organismos unicelulares de vida libre.

### 3.1. CÉLULAS PROCARIOTAS Y EUCARIOTAS.

*El microscopio electrónico permitió a los biólogos examinar la estructura interna de*

una gran variedad de células. A partir de estos estudios se encontró que existen dos tipos básicos de células (procariotas y eucariotas) que se diferencian por su tamaño y tipos de estructuras internas u organelos. Ver Figura 3.1.

La existencia de dos clases distintas de células, sin intermediarios conocidos, constituye una de las divisiones de evolución más fundamentales en el mundo de la biología. Las células procariotas, que en su estructura son más simples, incluyen a las bacterias, mientras que las células eucariotas tienen una estructura más compleja e incluyen a los protistas, hongos, plantas y animales. (Paniagua et al, 2011).

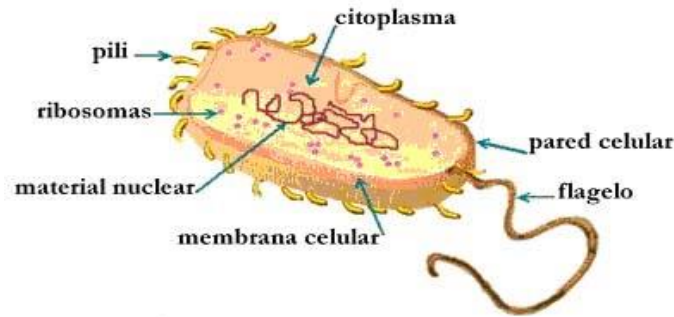
**Semejanzas y Diferencias.** La siguiente es una breve comparación entre células procariotas y eucariotas que hace evidentes muchas diferencias básicas entre los dos tipos, así como bastantes similitudes. Las propiedades que comparten reflejan que las células eucariotas casi con certeza evolucionaron a partir de ancestros procariotas.

A causa de su ancestro común, ambos tipos de células poseen un lenguaje genético idéntico, un grupo común de vías metabólicas y muchas propiedades estructurales comunes. Por ejemplo, los dos tipos celulares están limitados por membranas plasmáticas de estructura semejante que sirven como una barrera de permeabilidad selectiva entre los mundos vivo e inerte. Ambos tipos de células pueden estar recubiertos por una *pared celular* rígida inerte que protege la delicada vida de su interior.

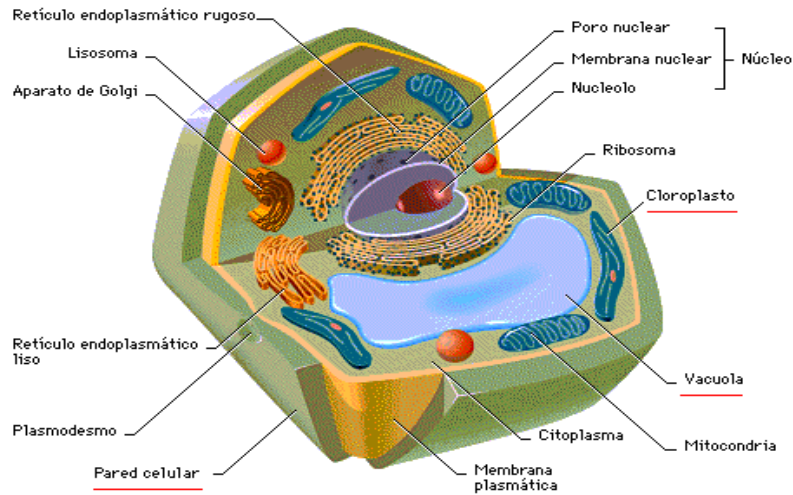
Aunque las paredes celulares de procariotas y eucariotas pueden tener funciones semejantes, su composición química es muy diferente. En su interior, las células eucariotas son mucho más complejas (en estructura y función) que las procariotas. La diferencia en complejidad estructural es evidente en las micrografías electrónicas de una célula bacteriana y una animal, ambas contienen una región nuclear, la cual posee el material genético de la célula rodeado por citoplasma.

El material genético de la célula procariota está presente en un **nucleoide**: una región de la célula no bien delimitada, sin membrana, que lo separa del citoplasma circuncidante. En cambio, las eucariotas poseen un **núcleo**: una región separada por una estructura membranosa compleja llamada *envoltura nuclear*. Esta diferencia de la estructura nuclear es la base de los términos *procariota* (*pro*, antes; *Karyon*, núcleo) y eucariota (*eu*, verdadero; *Karyon*, núcleo). Las células procariotas contienen relativamente pequeñas cantidades de ADN, en comparación con las células eucariota. (Starr y Taggart, 2004).

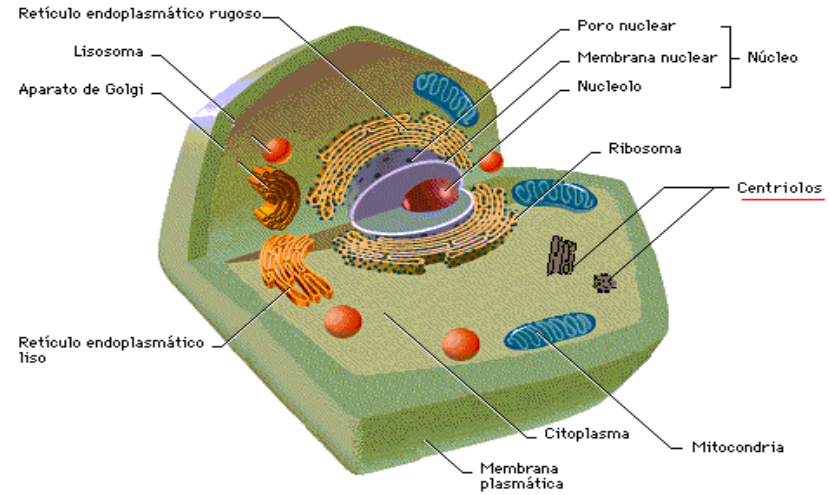
**Célula procariota.**



**Organización básica célula vegetal**



**Organización básica célula animal**



**Figura 3.1.:** Representación gráfica de las células. Arriba: Célula procariota, abajo: Células eucariotas. (vegetal y animal)



<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>EUCARIOTA</b>	<b>PROCARIOTA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño.</li> <li>• Nivel evolutivo.</li> <li>• Material genético.</li> <li>• Cromosomas.</li> <li>• Organelos citoplasmáticos.</li> <li>• Organelos transductores de energía.</li> <li>• Citoesqueleto.</li> <li>• Mecanismos de locomoción.</li> <li>• División celular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 10 a 100 um de diámetro.</li> <li>• Células evolucionadas.</li> <li>• ADN dentro de un núcleo con envoltura provista de poros.</li> <li>• Separados, cada uno de los niveles posee una sola molécula lineal de ADN. También posee ARN y proteínas.</li> <li>• Numerosos y con membrana.</li> <li>• Mitocondrias (respiración) y cloroplastos (fotosíntesis).</li> <li>• Formado por microtúbulos y microfilamentos.</li> <li>• Complejos (cilios y flagelo).</li> <li>• Mitosis y meiosis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 1 a 10 um de diámetro.</li> <li>• Células primitivas.</li> <li>• ADN desnudo confinado a un nucleoide sin membrana.</li> <li>• Un cromosoma circular único.</li> <li>• Ausentes.</li> <li>• Ausentes.</li> <li>• Ausentes.</li> <li>• Filamentos simples.</li> <li>• Fusión binaria, gemación.</li> </ul>

**Tabla 3.1:** Diferencias entre células eucariotas y procariotas.

### **Semejanzas entre células procariotas y eucariotas.**

- ❖ Membrana plasmática de estructura similar.
- ❖ Información genética codificada en el ADN mediante códigos genéticos idénticos.
- ❖ Mecanismos similares para la transcripción y traducción de la información genética, incluidos ribosomas semejantes.
- ❖ Rutas metabólicas compartidas (por ejemplo, glucólisis y ciclo de los ácidos tricarbónicos [TCA]).
- ❖ Aparato similar para la conservación de la energía química en forma de ATP (localizado en la membrana plasmática de procariotas y en la membrana mitocondrial de eucariotas).
- ❖ Mecanismos semejantes para la fotosíntesis (entre cianobacterias y plantas verdes).
- ❖ Mecanismos parecidos para sintetizar e insertar las proteínas de membrana.
- ❖ Estructura similar (entre arqueobacterias y eucariotas) de proteosomas (estructuras para la digestión de proteínas).

### **Diferencias.**

Las células procariotas y las eucariotas poseen cromosomas que contienen ADN. Las eucariotas muestran un número determinado de cromosomas separados, cada uno de los cuales posee una sola molécula lineal de ADN. En cambio casi todas las procariotas que se han estudiado contienen un cromosoma circular único. Ver Tabla 3.1

Lo más importante es que el ADN cromosómico de las eucariotas, a diferencia del de las procariotas, se relaciona estrechamente con proteínas para formar un material nucleoproteínico complejo que se conoce como **cromatina**.

El citoplasma de los dos tipos de células también es muy diferente. El de una célula eucariota posee una gran diversidad de estructuras, mucho más complejas desde el punto de vista estructural que el de una célula procariota, aunque las dos posean un número similar de genes. Las células eucariotas tienen una disposición de organelos limitados por membrana.

Los organelos eucariotas incluyen mitocondria, donde la energía química está disponible para alimentar las actividades celulares; un retículo endoplásmico, en donde se elaboran muchas de las proteínas y lípidos de la célula; el aparato de Golgi es el lugar en el que los materiales se clasifican, modifican y transportan a destinos celulares específicos, además de diferentes vesículas simples, limitadas por membranas de tamaños diferentes. (Mader, 2008).

Las células vegetales muestran organelos membranosos adicionales, incluidos los cloroplastos, que son los sitios en los que se realiza la fotosíntesis, y muchas veces una gran vacuola única que puede ocupar la mayor parte del volumen celular. Tomadas como un grupo, las membranas celulares eucariotas sirven para

dividir el citoplasma en compartimientos, dentro de los cuales se llevan a cabo actividades especializadas.

En cambio, el citoplasma de las células procariotas está libre en esencia de estructuras membranosas. Las membranas citoplásmicas de las células eucariotas forman un sistema de canales interconectados y vesículas que trabajan en el transporte de sustancias de una parte a otra de la célula y entre su interior y el ambiente.

A causa de su tamaño pequeño, la comunicación directa intracitoplásmica es menos importante en las células procariotas, en las que el flujo de materiales puede efectuarse por difusión simple. Las células eucariotas también contienen numerosas estructuras sin membrana celular que las limite. Los túbulos alargados y filamentos del citoesqueleto están incluidos en este grupo y participan en la contractilidad celular, movimiento y soporte.

Ambos tipos de células tienen ribosomas que son partículas no membranosas y funcionan como “mesas de trabajo” sobre las cuales las proteínas de las células se elaboran. Aunque los ribosomas de las células procariotas y eucariotas poseen dimensiones considerables (los procariotas son más pequeños e incluyen muchos menos componentes), estas estructuras participan en el ensamblaje de proteínas con un mecanismo similar en ambos tipos de células. Las micrografías electrónicas revelan que el citoplasma de una célula eucariota está lleno, lo cual deja poco espacio para la fase soluble del citoplasma, el **citósol**. (Karp *et al*, 2011).

### **3.2. TIPOS DE CÉLULAS PROCARIOTAS.**

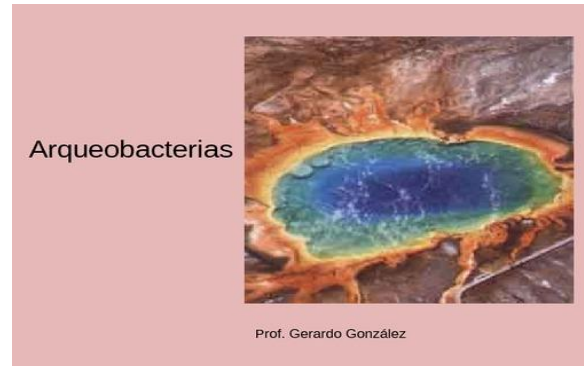
*Las diferencias entre las células procariotas y eucariotas se basan de manera principal en su complejidad estructural y no en las relaciones filogenéticas. Los procariotas están divididos en dos grandes grupos taxonómicos o dominios: Archaea (arqueobacterias) y Bacteria (o eubacterias).*

*El dominio arqueobacteria incluye a varios grupos de organismos cuyos lazos evolutivos entre unos y otros se manifiestan por similitudes de la secuencia nucleótida de sus ácidos nucleicos. Las especies más conocidas de arqueobacteria son las que viven en ambientes extremos e inhóspitos; a menudo se conocen como “extremófilas”. Ver Figura 3.2.*

Entre los organismos del dominio Arqueobacteria figuran los siguientes:

- **Metanógenos**, procariotas capaces de convertir los gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> en gas metano [CH<sub>4</sub>];
- **Halófilos**, procariotas que viven en ambientes en extremo salados, como el Mar Muerto o algunas cuencas oceánicas profundas con salinidad equivalente a la del MgCl<sub>2</sub>5M;

- **Acidófilos**, procariontes que tienen preferencias por ambientes ácidos, que viven a un pH tan bajo como cero, como los que se encuentran en los líquidos que drenan de las minas abandonadas;
- **Termófilos**, procariontes que viven a muy altas temperaturas. En este último grupo se incluyen a las **hipertermófilas**, que viven en chimeneas hidrotermales del fondo marino.



**Figura 3.2.** Representación de algunas arqueobacterias.

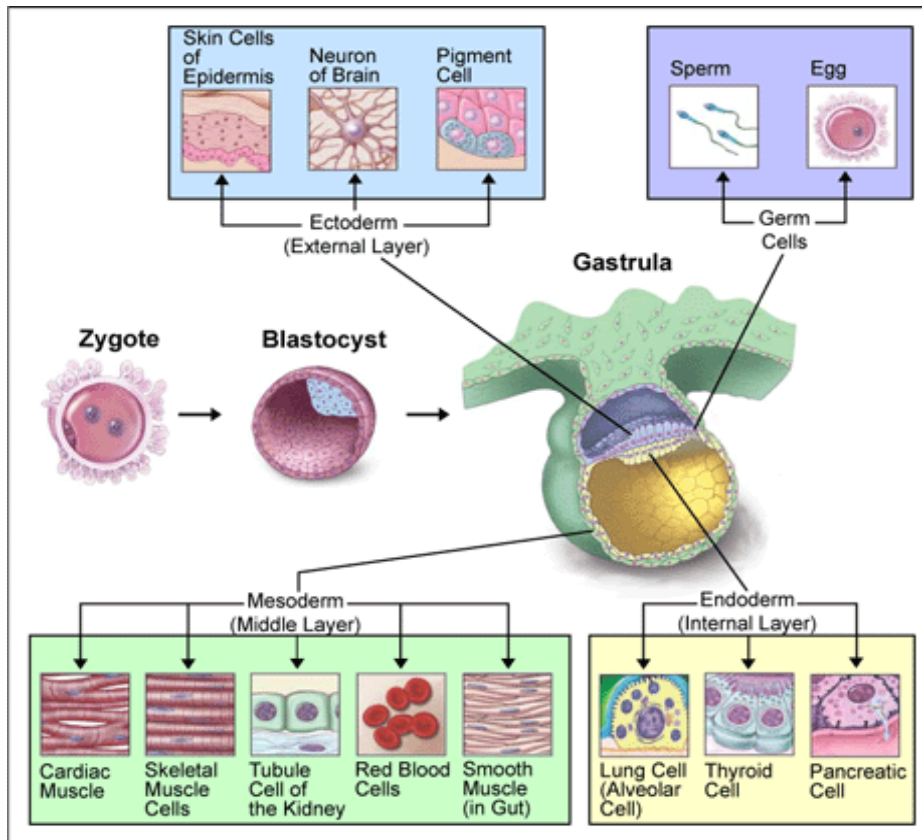
Todos los otros procariontes se clasifican en el dominio de Bacteria. Este dominio incluye a las células vivas más pequeñas, el *Micoplasma* (0.2  $\mu\text{m}$  de diámetro), que también son los únicos procariontes conocidos sin una pared celular y que contienen un genoma con apenas 500 genes. (Cooper y Hausman, 2011).

Las bacterias están presentes en todos los ambientes conocidos sobre la Tierra, desde los hielos polares antárticos hasta los desiertos más secos del África y los confines internos de las plantas y animales. Asimismo hay que mencionar a las bacterias que viven en sustratos rocosos situados a varios kilómetros de profundidad. Se piensa que algunas de estas comunidades bacterianas se aislaron de la vida en la superficie hace más de 100 millones de años.

Los procariontes más complejos son las cianobacterias. Estas poseen membranas citoplásmicas, que sirven como sitios para la fotosíntesis y son muy parecidas a las membranas fotosintéticas presentes dentro de los cloroplastos de las células vegetales. Como en las plantas, organismos eucariotas, la fotosíntesis en cianobacterias se lleva a cabo al romper las moléculas de agua para liberar oxígeno molecular. (De Duve, 2007).

### 3.3. TIPOS DE CÉLULAS EUCARIOTAS.

En muchos aspectos, las células eucariotas más complejas no se encuentran dentro de las plantas o animales, sino en los protistas, organismos de una sola célula (unicelulares), como los que se muestran en una ameba. Todos los mecanismos necesarios para las actividades complejas en las cuales intervienen estos organismos (sensores ambientales, captación de alimento, eliminación del exceso de líquidos, evasión de depredadores) están confinados dentro de una sola célula.



**Figura 3.3.** Ilustración de la diferenciación celular en ser humano, a partir del cigoto.

Los organismos unicelulares complejos representan una vía evolutiva. Un camino ha llevado a la evolución de los organismos multicelulares en la cual diferentes tipos celulares especializados efectúan distintas actividades. Las células especializadas se forman por un proceso conocido como **diferenciación**.

Por ejemplo, un óvulo humano fecundado experimenta un desarrollo embrionario que lleva a la formación de alrededor de 250 tipos distintos de células diferenciadas. Algunas de ellas formarán parte de una glándula digestiva específica, otras se convierten en componentes de un gran músculo esquelético, otras más constituyen un hueso, etc. (Nelson, 2010)

La ruta de diferenciación seguida por cada célula embrionaria depende de manera fundamental de las señales que ésta recibe del ambiente circundante; dichas señales dependen a su vez de la posición de dicha célula dentro del embrión. Como resultado de la diferenciación, distintos tipos celulares adquieren una apariencia característica y contienen materiales únicos.

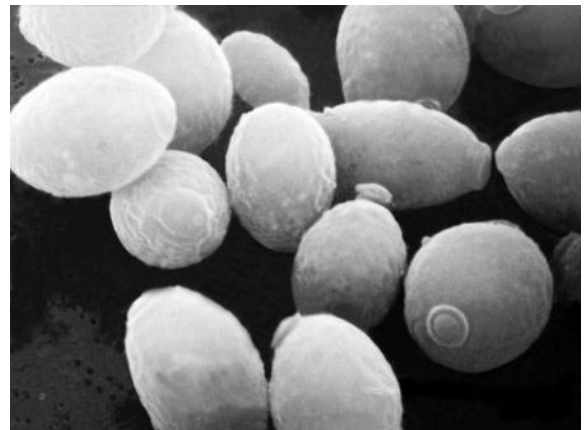
No obstante, a pesar de sus múltiples diferencias, las células de una planta o animal están compuestas de organelos semejantes. Por ejemplo, las mitocondrias se localizan en todos los tipos celulares. Sin embargo, en un tipo celular pueden tener forma redonda y en otro un aspecto muy alargado. En cada caso, el número, apariencia y localización de los diferentes organelos pueden correlacionarse con la actividad de cada tipo celular. (Joyce, 2007).

### **3.4. ORGANISMOS MODELO.**

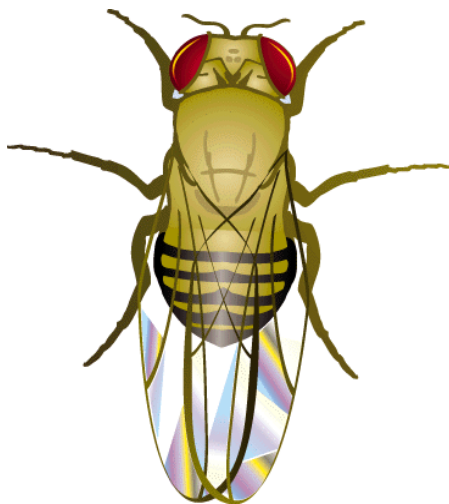
*Los organismos vivos son muy diversos y los resultados obtenidos de un análisis experimental pueden depender del organismo en particular bajo estudio.*



**Bacteria E. Coli.**



**Levadura Saccharomyces cerevisiae.**

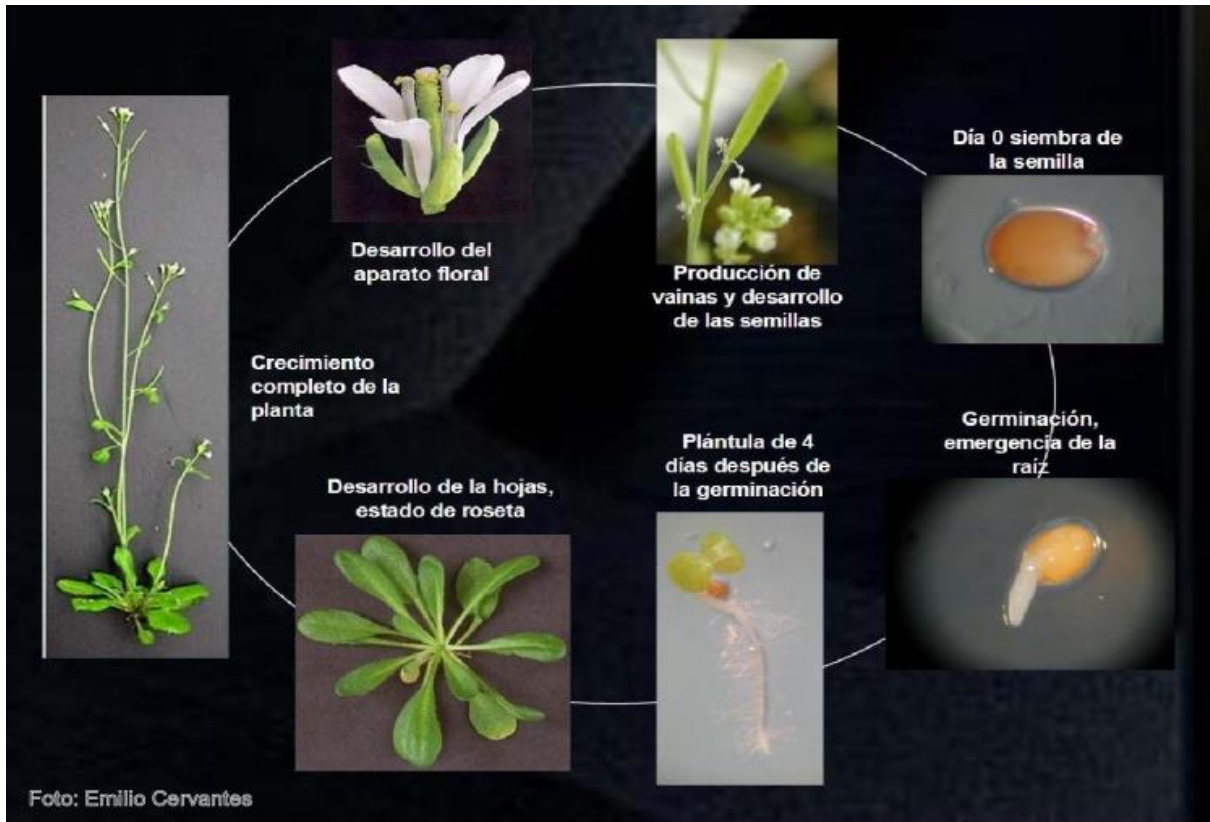




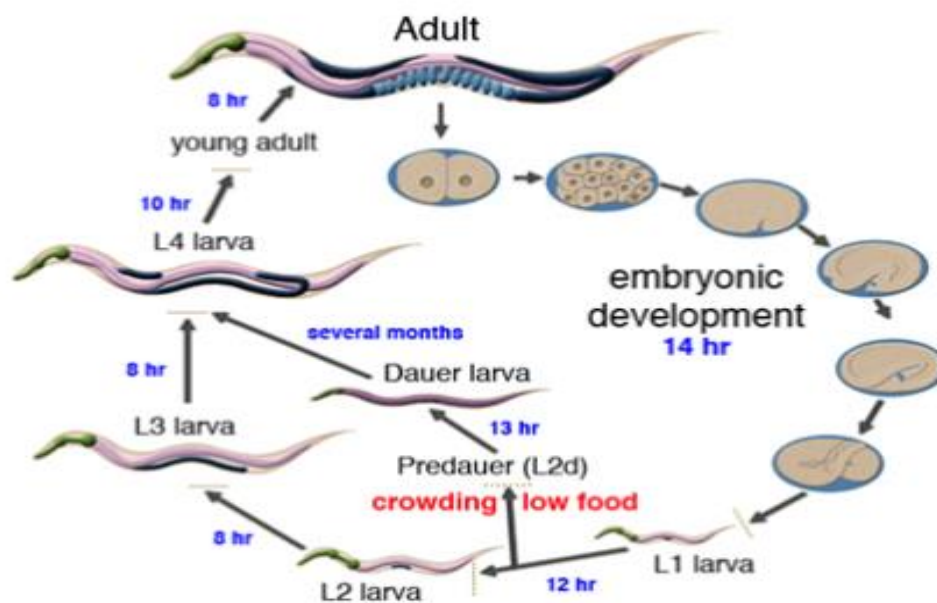
Mosca: *Drosophila melanogaster*.

Ratón *Mus musculus*.

**Figura 3.4.** Representación gráfica de algunos organismos modelos que han sido de especial interés en el estudio de la biología celular.



Planta *arabidopsis thaliana*.



### **Nemátodo: *Caenorhabditis elegans*.**

**Figura 3.5** Gráfica de dos organismos modelos. La planta *Arabidopsis thaliana* y un nemátodo *Caenorhabditis elegans*.

*Se espera que un cuerpo de conocimiento extenso basado en tales estudios constituya un marco de referencia que permita comprender los procesos básicos que son compartidos por muchos organismos, en especial el ser humano. Esto no quiere decir que muchos otros organismos no se utilicen ampliamente en el estudio de la biología celular y molecular.*

No obstante, seis organismos modelo, un procarionta y cinco eucariotas, han captado mucho la atención: una bacteria, *E. coli*; una levadura, *Saccharomyces cerevisiae*; una planta con flor, *Arabidopsis thaliana*; un nemátodo, *Caenorhabditis elegans*; una mosca de la fruta; *Drosophila melanogaster*, y un ratón, *Mus musculus*. Cada uno de ellos posee ventajas específicas que los hace particularmente útiles como objeto de investigación. (Karp, 2011).

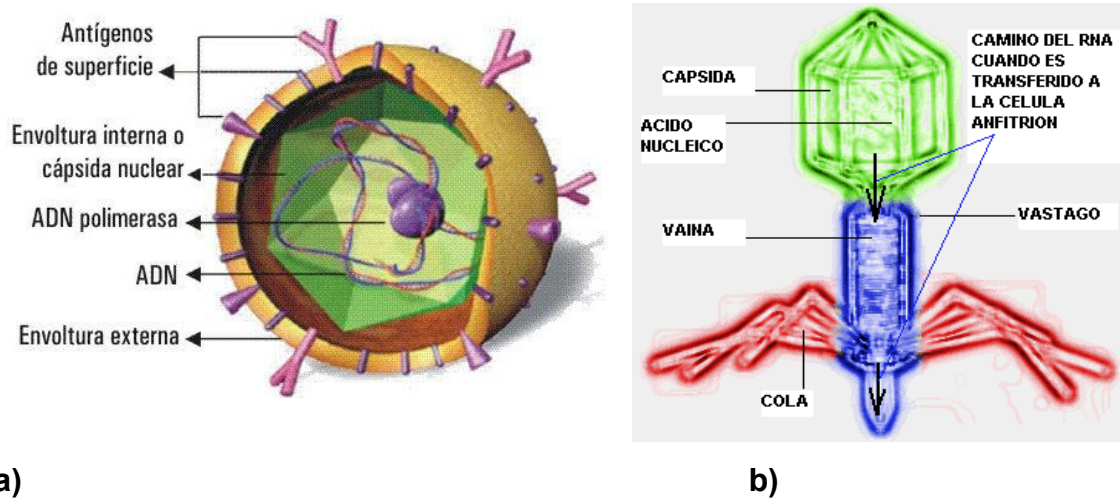
### **3.5. VIRUS.**

*La mayor parte de la comunidad científica considera que los virus son diminutas partículas infecciosas que poseen algunas características de los seres vivos pero carecen de otras. Las partículas virales son extremadamente pequeñas (0.05–0.2 micras), de tal forma que solo son observables con el microscopio electrónico.*

*Están compuestas de dos estructuras principales: a) una molécula de material hereditario, ya sea ADN o ARN y b) una capa de proteína denominada cápside que rodea a la molécula del ácido nucleico, y que a su vez puede estar envuelta por la membrana de una célula hospedera, tal como ocurre en los virus que infectan las células animales. (Flint et al, 2003).*

Los virus se presentan en una amplia variedad de formas, tamaños y estructuras, si bien comparten ciertas características comunes. Todos los virus son parásitos intracelulares obligados, esto es, no se pueden reproducir a menos que se encuentren dentro de una célula hospedera. Ver Figura 3.6.





**a)** Virus de la hepatitis b. **b)** Bacteriófago.

Según sea el virus específico, el hospedero puede ser una planta, animal o bacteria. Fuera de las células vivas los virus existen como partículas, o viriones, que son una especie de paquete macromolecular. El virión contiene una cantidad pequeña de material genético que, en relación con el virus del que se trate, puede ser un ADN o ARN de cadena sencilla o doble.

Se destaca que algunos virus tienen tan sólo tres a cuatro genes diferentes, pero existen otros que pueden tener hasta varios cientos de ellos. El material genético del virión está rodeado por una cápsula proteínica, o **cápside**. Los viriones son agregados macromoleculares, partículas inanimadas que por sí mismas son incapaces de reproducirse, metabolizar o realizar cualquier otra de las actividades con la vida. Por ellos, los virus no se consideran organismos y no se los describe como seres vivos.

En muchos virus de animales, incluido el *virus de la inmunodeficiencia humana* (VIH) causante del sida, la cápside proteica está rodeada por una envoltura fosfolipídica externa que proviene de la membrana plasmática modificada de la célula hospedera, obtenida cuando el virus salió por gemación de la superficie celular. Los virus bacterianos o bacteriófagos se encuentran entre los virus más complejos. También son las entidades biológicas más abundantes en el planeta Tierra. (Knipe et al, 2007).

Los bacteriófagos T, consisten en una cabeza poliédrica que contiene ADN, un tallo cilíndrico por medio del cual el ADN se inyecta dentro de la célula bacteriana, y un grupo de fibras en el extremo; en su conjunto la partícula viral ofrece al respecto de un módulo de aterrizaje espacial. (Ver figura 1.12).

Cada virus posee en su superficie una proteína que es capaz de unirse a un componente definido de la superficie de la célula hospedera. La interacción de las proteínas virales y las del hospedero determina la especificidad del virus, esto es, los tipos de la célula hospedera en los que los virus pueden entrar e infectar.

Algunos virus tienen un amplio *espectro de hospederos* y son capaces de infectar células de diferentes órganos o especies hospederas. Por ejemplo, el virus que causa la rabia puede infectar muchos tipos mamíferos hospederos que incluyen perros, murciélagos y seres humanos.

Sin embargo, la mayor parte de los virus tienen un espectro relativamente reducido de hospederos. Esto es parcialmente cierto, por ejemplo, para los virus del resfriado común y la influenza humana, que sólo pueden infectar las células del epitelio respiratorio del hospedero humano.

**Viroides.** Los viroides se consideran agentes infecciosos formados por una molécula circular pequeña de ARN desprovista por completo de cubierta proteica. El tamaño del ARN de los viroides oscila entre 240 y 600 nucleótidos, la décima parte del tamaño de los virus más pequeños.



**Figura 3.7.** Esquemas comparativos entre organismos celulares y organismos no celulares.

No existen evidencias de que el ARN del viroide desnudo pueda codificar alguna proteína. En realidad cualquier actividad bioquímica en la que intervienen los viroides tiene lugar al usar las proteínas de la célula hospedera. Por ejemplo, para duplicarse dentro de una célula infectada, el ARN del viroide utiliza la polimerasa II de ARN de la célula hospedera, una enzima que transcribe el ADN del hospedero en ARN mensajero. Se piensa que los viroides provocan enfermedad al interferir con la vía normal de la expresión génica celular. (Caims et al, 2007).

### 3.6. FUNCIONES DE LA CÉLULA

Para funcionar adecuadamente, una célula debe ser capaz de (1) Distribuir las materias primas y las moléculas orgánicas y (2) eliminar los desechos. Puesto que finalmente todas estas sustancias deben entrar o salir de la célula, la selectividad y extensión de su superficie es muy importante. El ritmo de la actividad celular se restringe en forma similar a la construcción de condominios frente al océano que está limitada por las normas de construcción y la extensión de la playa disponible.

La célula funciona como un sistema abierto. Pueden hacerse reparaciones, pero los procesos vitales no pueden interrumpirse mientras se realizan estas. Puede haber retrasos pero no hay forma de detener la actividad celular por inventario o reparaciones. Hacerlo significa la muerte de la célula. Los constituyentes de la célula se forman y destruyen continuamente, los reemplazos ocurren no solo conforme estos se utilizan, sino de acuerdo también con programas regulares de mantenimiento preventivo.

Los grupos de células que realizan la misma función se denominan **tejidos**. Así, las células nerviosas, musculares, e incluso sanguíneas forman tejidos en los animales. El xilema y el floema son tejidos conductores en los vegetales. Los grupos de tejidos que realizan funciones relacionadas forman **órganos**: el cerebro, el corazón, el hígado. Así mismo, los órganos se combinan en **sistemas** para construir organismos: abeja, mango, cocodrilo.

La célula ha sido descrita como una “bolsa de enzimas”. Hay algo de cierto en esta definición y señala la importancia de las enzimas en la actividad celular. Sin embargo, ignora la naturaleza compleja de la estructura celular. De hecho, la complejidad celular es casi increíble. La célula es pequeña, pero definitivamente no es simple (Cooper y Hausman, 2011).

Aún con grandes aumentos, el examen inicial de las células suele ser decepcionante porque muy pocos detalles internos pueden distinguirse. La mayoría de las células vivas son opacas y muchas carecen de textura aparente. Con frecuencia este problema desaparece tiñendo las células para dar contraste a las partes que la componen.

Cada vez es más evidente que el detalle interno de las células es un sistema de comunicación integrado. Todavía se analiza la microestructura real que se observa en algunas microfotografías. Algunos científicos señalan que existe una red o trama estructurada que forma un citoesqueleto. Otros afirman que la estructura fina de la célula es solo un artefacto del proceso de fijación y que su función, al igual que los canales de Marte, se han malinterpretado.

### 3.7. TAMAÑO Y FORMA DE LA CÉLULA.

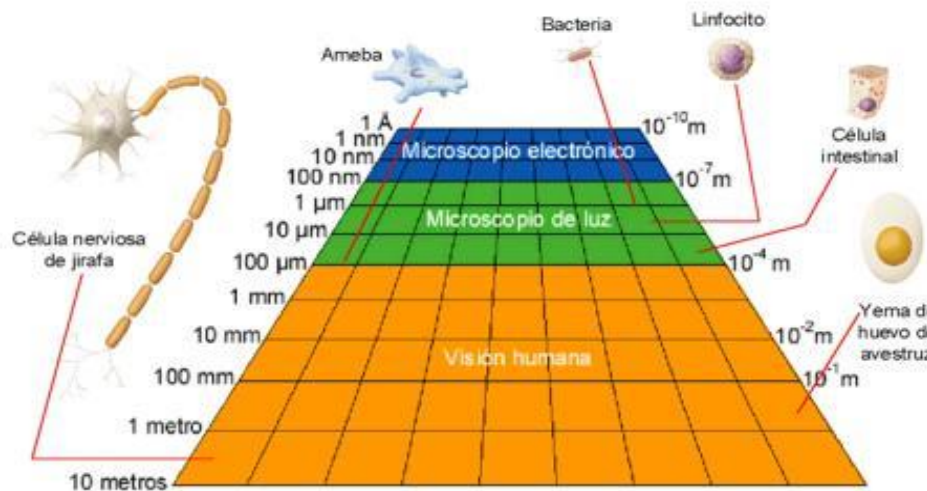
Por lo general, las células procariotas se encuentran en los límites de 1 a 5  $\mu\text{m}$  de diámetro y las eucariotas de 10 a 30  $\mu\text{m}$ . Las células son microscópicas por

razones diferentes: su núcleo posee un número limitado de copias de cada gen; el área superficial (que sirve como una superficie de intercambio celular) se convierte en un factor limitante a medida que la célula incrementa su tamaño; y la distancia entre la superficie celular y el interior llega a ser también demasiado grande para que la célula realice sus actividades mediante fusión simple. Ver Figura 3.8.

**Forma de la célula.** Las células varían notablemente en cuanto a su forma, que de manera general, puede reducirse a la siguiente: variables y regular. Ver figura 3.9.

**a) Células de forma variable o irregular:** Son células que constantemente cambian de forma según como se cumplan sus diversos estados fisiológicos. Por ejemplo los leucocitos en la sangre, son esféricos y en los tejidos toman diversa formas; las amebas que constantemente cambian de forma en las aguas estancadas. Estos constantes cambios que se producen se deben a la emisión de pseudópodos, que no son sino prolongaciones transitorias del citoplasma (Nason, 2010).

**b) Células de forma estable, regular o típica:** La forma estable que toman las células en los organismos pluricelulares se debe a la forma como se han adaptado



**Figura 3.8** Representación de los diversos tamaños que poseen las células en diferentes especies.

para cumplir ciertas funciones en determinados tejidos u órganos. Son de las siguientes clases:

**1.- Isodiamétricas:** Son las que tienen sus tres dimensiones iguales o casi iguales. Pueden ser:  
Esféricas: como los óvulos y los cocos (bacterias).

Ovoideos: Como las levaduras.  
Cúbicas: Folículo tiroideo.

**2.- Aplanadas:** Si sus dimensiones son mayores que el grosor. Generalmente forman tejidos de revestimiento, como las células epiteliales.

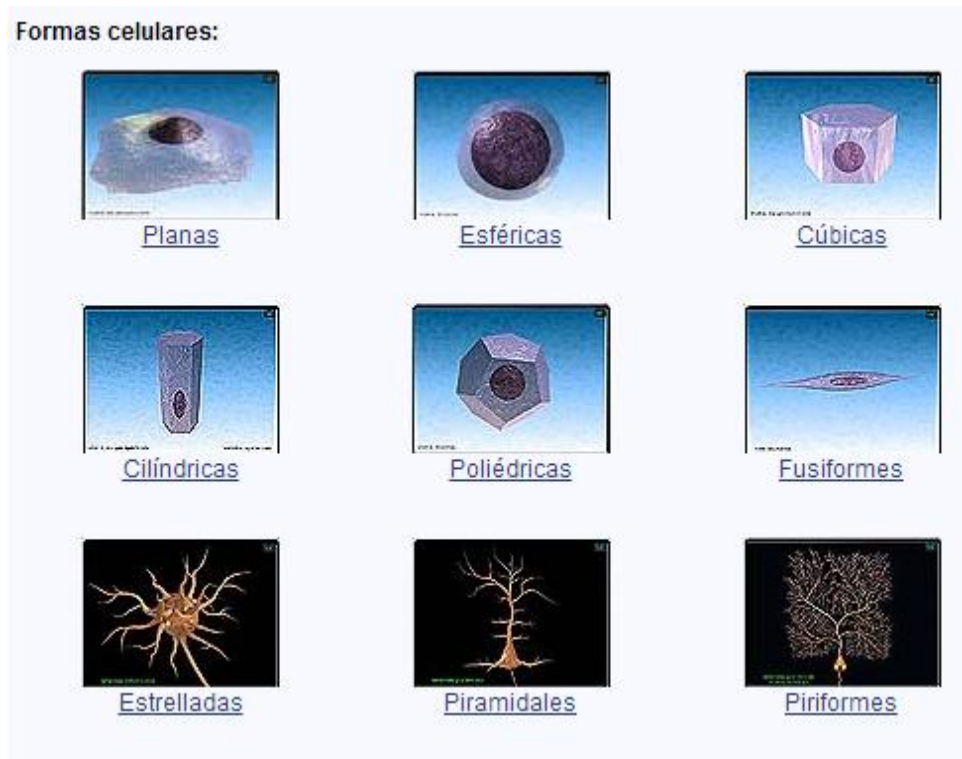
**3.- Alargadas:** En la cual un eje es mayor que los otros dos. Estas células forman parte de ciertas mucosas que tapizan el tubo digestivo; otros ejemplos lo tenemos en las fibras musculares.

**4.- Estrelladas:** como las neuronas, dotadas de varios apéndices o prolongaciones que le dan un aspecto estrellado.

### 3.8. PARTES DE LA CÉLULA EUCARIOTICA

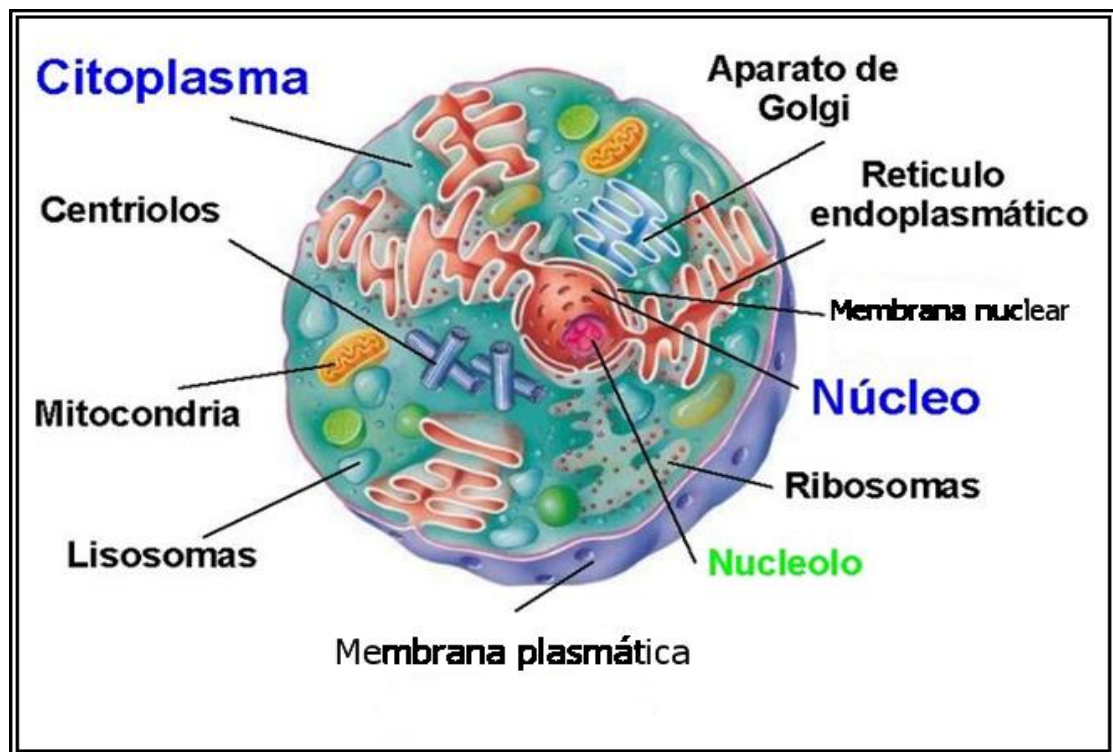
A pesar de su diversidad estructural, en la célula eucariota se distinguen tres partes perfectamente diferenciadas

- Membrana celular
- Citoplasma
- Núcleo y organelos



**Figura 3.9.** Principales formas celulares





**Figura 3.10** Diagrama que muestra las principales partes de la célula eucariota

**3.8.1. Membrana celular.** Una membrana celular es una capa de macromoléculas que encierra todas las células y muchos organelos. Se denomina membrana plasmática cuando forma el límite exterior de una célula. Es decir, las células están separadas del ambiente externo por una estructura denominada **membrana plasmática**, que solo tiene unas cuantas moléculas de espesor (5 a 10 nm). Debido a su delgadez, cuando se examina un corte de la célula con microscopio de luz no se descubre signo alguno de la membrana plasmática. En realidad, no fue sino hasta finales del decenio de 1950 que las técnicas permitieron observar con claridad la membrana plasmática mediante microscopio electrónico.

Todas las membranas son estructuras de lípidos y proteínas cuyos componentes se mantienen unidos formando una delgada capa por medio de enlaces no covalentes. Además de lípidos y proteínas, la membrana también contiene carbohidratos. La proporción entre lípidos y proteínas varía considerablemente según el tipo de membrana celular (plasmática, retículoendoplásmica, complejo Golgi), tipo de organismo (procariota, vegetal, animal) y tipo de célula (cartilaginosa, muscular, hepática). Por ejemplo, en la membrana interna de las mitocondrias, la relación proteína/lípidos es muy alta en comparación con la membrana plasmática del eritrocito, que a su vez es alta comparada con las membranas de la vaina de mielina que rodean una célula nerviosa. Estas diferencias pueden correlacionarse en gran medida con la función particular de estas membranas (Mackinnon, 2005).

**Membrana plasmática. Características.** Todas las células tanto procariotas como eucariotas están rodeadas por la membrana plasmática, que define el límite de la célula y separa su contenido interno del medio externo. Debido a que actúa como una barrera selectiva al paso de las moléculas, la membrana plasmática determina la composición del citoplasma. En último término esto define la identidad de la célula, por lo que la membrana plasmática es una de las estructuras más importantes de la evolución celular. De hecho, se presume que la primera célula surgió al quedar rodeado un ARN autorreplicante por una membrana de fosfolípidos.

La estructura básica de la membrana plasmática de las células modernas es la bicapa lipídica, que es impermeable a la mayoría de las moléculas hidrosolubles. Por tanto, el paso de iones y de la mayor parte de las moléculas biológicas a través de la membrana plasmática es mediado por proteínas, que son las responsables del tráfico selectivo de las moléculas tanto al interior como al exterior celular. Otras proteínas de la membrana plasmática controlan las interacciones entre las células de los organismos multicelulares y actúan como sensores a través de los cuales la célula recibe señales del medio. Por tanto, la membrana plasmática desempeña un papel doble: aísla al citoplasma e igualmente media las interacciones entre la célula y su medio. (Cooper y Hausman, 2011).

Entre las funciones principales de la membrana plasmática están:

- ❖ **Departamentalización.** La membrana plasmática rodea todo el contenido de la célula, en tanto que la membrana nuclear y citoplásmica incluyen varios espacios celulares internos en los cuales tienen lugar actividades especializadas. Igual que el espacio dentro de una casa posee habitaciones especiales (sala, comedor, dormitorios, cocina) con un mínimo de interferencia externa, así también debe dividirse la célula. En la célula, la sectorización es particularmente importante debido a que los diferentes espacios están llenos de líquido, y si estos líquidos se mezclaran sería desastroso.
- ❖ **Permeabilidad selectiva.** Las membranas impiden el libre intercambio de materiales de un lado a otro, pero al mismo tiempo proporcionan el medio para comunicar un espacio con otro. La membrana plasmática debe garantizar que las sustancias apropiadas penetren el citoplasma desde el espacio externo y las sustancias inapropiadas salgan de la célula. En esta función, la membrana plasmática actúa como barrera **selectivamente permeable** (Rogers y Gelfand VI, 2000).
- ❖ **Transporte de solutos.** La membrana plasmática contiene los mecanismos para transportar físicamente sustancias de un lado al otro de la membrana. Esto permite que la célula acumule azúcares y aminoácidos, necesarios como

energéticos de su metabolismo y para construir sus macromoléculas. La membrana plasmática tiene otra función relacionada con el transporte de solutos, que consiste en separar iones con carga opuesta y establecer gradientes iónicos. Esta capacidad es crucial para las células nerviosas y musculares, pero también puede desempeñar un papel en la respuesta de cualquier célula a su ambiente.

- ❖ **Respuesta a estímulos.** La membrana plasmática tiene una función muy importante en la respuesta de una célula a los estímulos externos, proceso conocido como **transducción de señales**. Las membranas poseen **receptores** que se combinan con moléculas específicas (**ligandos**) con estructura complementaria. Los ligandos mejor estudiados son hormonas, factores de crecimiento y neurotransmisores, todos unidos a la membrana plasmática pero que no la atraviesan. La interacción de un receptor de membrana plasmática con un ligando externo a veces provoca que la membrana genere una nueva señal que estimula o inhibe actividades internas. Por ejemplo, las señales generadas en la membrana plasmática pueden indicar a la célula que elabore más glucógeno, se prepare para la división celular, se desplace hacia los puntos de mayor concentración de un compuesto particular, libere calcio de sus reservas internas o posiblemente que se suicide. (Sheetz, 1993)
  
- ❖ **Interacción intercelular.** Situada en la frontera de la célula viviente, la membrana plasmática media las interacciones que ocurren entre las células de un organismo multicelular. La membrana también permite a las células reconocerse entre sí, adherirse cuando es apropiado e intercambiar materiales e información.
  
- ❖ **Sitios para actividades bioquímicas.** Las membranas proporcionan un medio para organizar las actividades celulares. Puesto que los reactantes se encuentran en solución, sus posiciones no son estables y su interacción depende de colisiones al azar. De igual manera, las membranas suministran a la célula una extensa armazón o andamiaje dentro del cual se pueden ordenar los componentes para una interacción eficaz. Una parte significativa de los mecanismos enzimáticos de una célula se relaciona con sus diferentes membranas.
  
- ❖ **Transducción de energía.** Las membranas participan estrechamente en los procesos que convierten un tipo de energía en otro (Transducción de energía). La más fundamental transducción de energía ocurre durante la fotosíntesis, cuando los pigmentos unidos a la membrana absorben energía de la luz solar, la convierten en energía química y la almacenan en carbohidratos. Las membranas también participan en la transferencia de energía química de grasas y carbohidratos al ATP. En eucariotes, los mecanismos para estas conversiones energéticas se encuentran dentro de las membranas de los



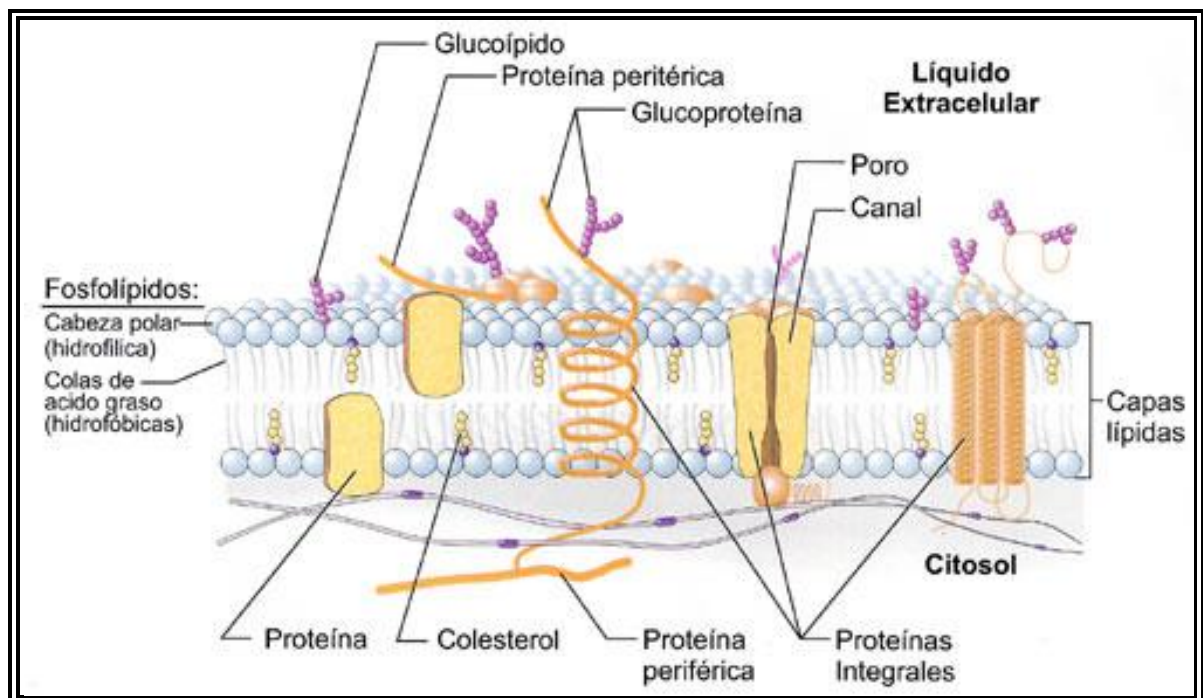
cloroplastos y las mitocondrias. Las membranas también sirven como sitios para almacenar energía cuando mantiene concentraciones diferentes de iones específicos o de otros solutos a través de su superficie. La energía almacenada en estos gradientes es igual a la acumulada en una pila eléctrica y se emplea para ejecutar muchas de las actividades más importantes de la célula. (Mader, 2008)

### MODELO DE MOSAICO FLUIDO.

Para explicar la estructura y funcionamiento de la membrana plasmática se propusieron diversos modelos. Sin embargo, fueron los experimentos realizados por S. Jonathan Singer y Garth Nicholson, de la Universidad de California (USA) los que llevaron a proponer el denominado “modelo de mosaico fluido” en 1972 que pese el tiempo transcurrido se encuentra en vigor y se aplica a todas las membranas de la célula.

El modelo de Singer y Nicholson describe la membrana como una doble capa de fosfolípidos fluidos dentro de la cual las proteínas están inmersas de diversas maneras (mosaico) en vez de mantenerse en forma de una capa continua. (Ver Figura 3.11)

Una característica especial de la bicapa lipídica es que es un fluido, no un sólido. Por tanto, las porciones de la membrana pueden fluir literalmente desde un punto hasta otro a lo largo de la superficie de la membrana. Las proteínas u otras sustancias disueltas o que flotan en la bicapa lipídica se difunden a todas las áreas de la membrana plasmática.



**Figura 3.11.** Estructura de la membrana plasmática según modelo del mosaico fluido. Todas las membranas celulares contienen moléculas de fosfolípidos que forman una capa doble, dentro del cual están inmersas las proteínas.

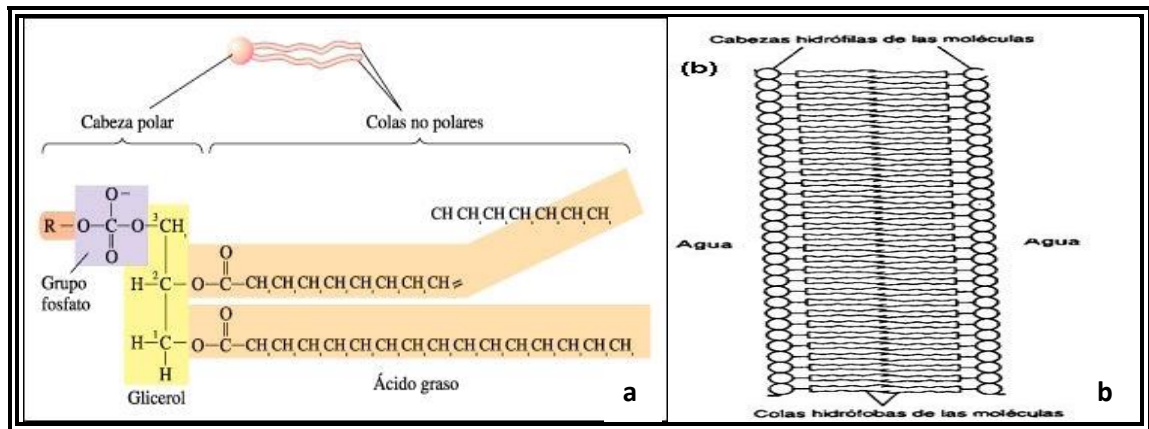
La estructura básica de la bicapa lipídica son moléculas de fosfolípidos. La porción fosfato de los fosfolípidos es hidrofílica y la porción de ácido graso es hidrofóbica. Las porciones hidrofóbicas de los fosfolípidos son repelidas por el agua, pero se atraen mutuamente entre sí, por lo que tienen una tendencia natural a alinearse unas al lado de otras en el centro de la membrana, tal y como se muestra en la Figura 3.11 Las porciones hidrofílicas del fosfato cubren las dos superficies en contacto con el agua circundante.

Las proteínas del mosaico fluido se presentan como “un mosaico” de partículas discontinuas que penetran profundamente hacia el interior y atraviesan por completo la bicapa de fosfolípido. Lo más importante del modelo de mosaico de fluido es que considera las membranas celulares como estructuras dinámicas cuyos componentes son movibles, con capacidad para reunirse y participar en interacciones transitorias o semipermanentes de diferentes tipos. (Singer y Nicholson, 1972)

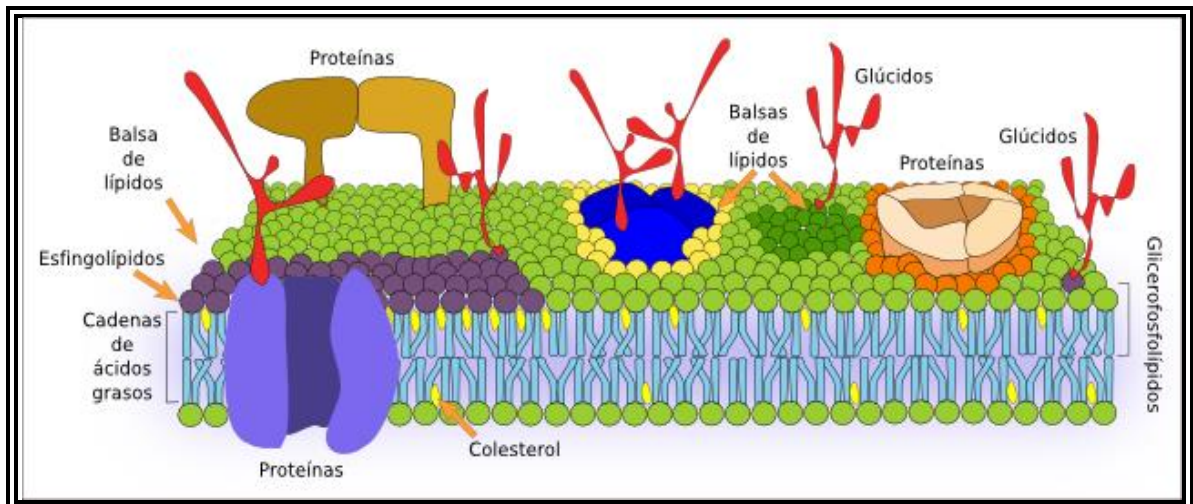
Mediante la técnica de microscopía electrónica denominada “criofractura-réplica” se rompe la membrana y queda dividida en dos caras: cara E (exoplásmica o externa) y cara C (citoplásmica o interna).

**COMPOSICIÓN DE LA MEMBRANA.** Todas las membranas son estructuras de lípidos y proteínas cuyos componentes se mantienen unidos formando una delgada capa por medio de enlaces no covalentes. Además de lípidos y proteínas, la membrana también contiene carbohidratos. La proporción entre lípidos y proteínas varía considerablemente según el tipo de membrana celular (plasmática, retículoendoplásmica, complejo Golgi), tipo de organismo (procariota, vegetal, animal) y tipo de célula (cartilaginosa, muscular, hepática). Por ejemplo, en la membrana interna de las mitocondrias, la relación proteína / lípidos es muy alta en comparación con la membrana plasmática del eritrocito, que a su vez es alta comparada con las membranas de la vaina de mielina que rodean una célula nerviosa. Estas diferencias pueden correlacionarse en gran medida con la función particular de estas membranas. (Karp 2011).

**Lípidos de membrana:** Los lípidos forman una doble capa, con los grupos hidrófobos en el centro y los hidrófilos en el exterior, en contacto con la fase acuosa, forman la matriz de la membrana. Hay unos cinco millones de moléculas lipídicas por un  $\mu\text{m}^2$  de membrana (Hakomoris, 1986).



**Figura 3.12.** Estructura de los Fosfolípidos a) Modelo de la bicapa lipídica, b) Orientación de los fosfolípidos en la membrana plasmática.



**Figura 3.13.** Localización de las balsas lipídicas en la membrana plasmática.

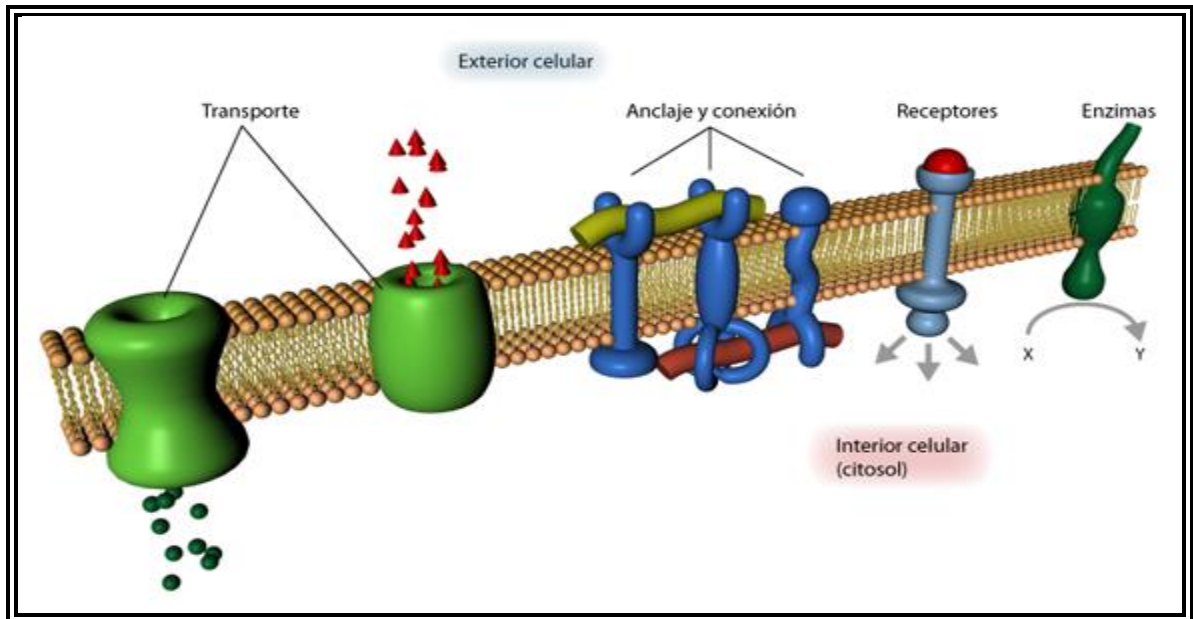
Los principales tipos de lípidos que forman ambas bicapas de la membrana son los siguientes:

- ❖ Fosfolípidos
- ❖ Esfingolípidos
- ❖ Esteroides. Ver Figuras 3.12 y 3.13.

**Proteínas de membrana:** Según el tipo de célula y el organelo particular del interior de dicha célula, una membrana puede contener desde una docena hasta más de 50 proteínas diferentes. Estas proteínas no se disponen al azar dentro de la membrana, sino que cada una se localiza y orienta en una posición particular respecto de la bicapa de lípidos. Se destaca que todas las proteínas de la membrana se sitúan asimétricamente de modo que las propiedades de la cara E de la membrana son muy diferentes a las de cara P. Las proteínas de la

membrana se pueden agrupar en tres tipos distintos según la intimidad de su relación con la bicapa de lípidos. Estos grupos son:

- ❖ Proteínas integrales.
- ❖ Proteínas periféricas.
- ❖ Proteínas ancladas a lípidos. Ver Figura 3.14.



**Figura 3.14.** Tipos de proteínas presentes en la membrana plasmática. Las principales son de transporte, de anclaje y conexión, receptores y enzimas.

**Proteínas integrales**, que atraviesan por completo la bicapa de lípidos y por lo tanto tienen dominios que sobresalen en ambas caras de la membrana, la extracelular (E) y la citoplásmica (C). Las proteínas integrales pueden desplazarse por la bicapa de lípidos y así abrir poros transitorios o dinámicos. De esta manera, el paso a través de la membrana del agua y de sustancias insolubles en lípidos no requiere la presencia de poros, que nunca se han visto. Además, algunas proteínas actúan como moléculas portadoras uniéndose a las sustancias transportadoras. Son proteínas transmembranas que poseen actividades tipo *permeasa*, y en su interior existen caminos polares para permitir el transporte molecular. (Pollard y Goldman, 1993)

**Proteínas periféricas**, que se localizan por completo fuera de la bicapa de lípidos, sobre la cara C o citoplásmica, pero todavía relacionadas con la superficie de la membrana mediante enlaces no covalentes. Estas proteínas forman una red fibrilar que actúa como "esqueleto" flexible para suministrar apoyo mecánico a la membrana cuando se producen cambios rápidos en la morfología celular y también para fijar las proteínas integrales de la membrana. Otras proteínas periféricas sobre la superficie interna de la membrana funcionan como enzimas o

factores transmisores de señales a través de la membrana.

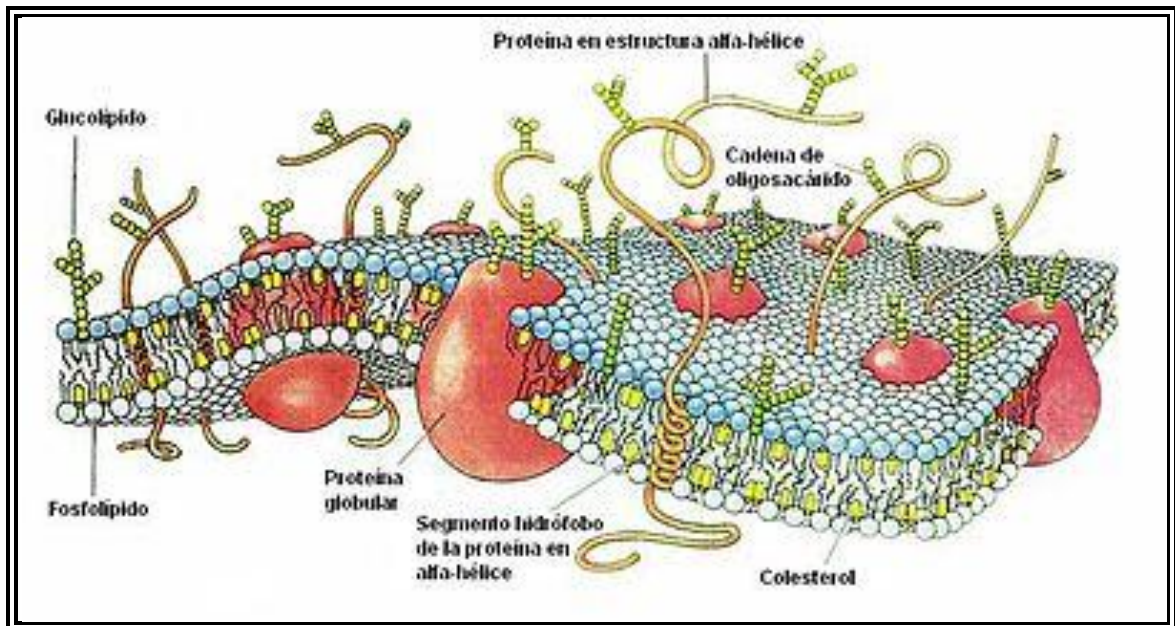
**Proteínas ancladas a lípidos**, localizadas fuera de la bicapa de lípidos, pero unidas mediante enlaces covalentes a una molécula lípida situada dentro de la bicapa. (Smith y Wood, 1997).

**Carbohidratos de membrana:** Los carbohidratos están presentes en la membrana plasmática unidos covalentemente a proteínas (glucoproteínas) o a lípidos (glucolípidos). Se encuentran del lado externo y son generalmente *oligosacáridos*. La célula queda así recubierta por una envoltura de material hidrocarbonado, denominado *glucocálix*, que es particularmente visible en algunas células y que llega a representar entre el 2 y el 10% del peso de la membrana. En esta cubierta también pueden encontrarse algunas proteínas.

**Consecuencias de la fluidez de la membrana.** La fluidez permite que ocurran interacciones dentro de la membrana. Por ejemplo, gracias a la fluidez de la membrana algunas proteínas se ensamblan en un sitio particular de la membrana y forman estructuras especializadas como uniones intercelulares, compuestos que captan luz y sinapsis. La transferencia de señales a través de la membrana plasmática requiere de la interacción de receptores transmembrana que se unen a ligandos sobre la superficie externa de la misma. Debido a la fluidez de la membrana, las moléculas que interactúan pueden reunirse, efectuar la reacción necesaria y separarse. La fluidez también tiene relación con el ensamble de la membrana. Las membranas sólo se originan a partir de membranas preexistentes y crecen mediante un proceso que añade componentes lípidos y proteínas a la matriz líquida de una capa membranosa.

Muchos de los procesos celulares básicos, incluyendo movimiento celular, crecimiento de la célula y división de la misma, formación de uniones intercelulares, secreción y endocitosis, dependen de movimientos de los componentes de la membrana y tal vez no serían posibles si la membrana fuera una estructura rígida no fluida (Bray, 1992).





**Figura 3.15.** Composición lipídica de la membrana plasmática.

**Función de la bicapa lipídica:** La presencia de una bicapa de lípidos permite que las membranas formen extensas redes interconectadas que se ramifican a través de las células. Gracias a la flexibilidad de la bicapa de lípidos, las membranas son deformables y pueden cambiar toda su forma, como ocurre durante la locomoción o la división celular. Se supone que la bicapa de lípidos facilita la fusión o el desdoblamiento de las membranas.

### 3.8.2. CITOPLASMA

Los biólogos modernos designan con el nombre de citoplasma el contenido de las células, con exclusión del núcleo. En el citoplasma se diferencian el citosol y los organelos.

**El citosol** es el componente fluido del citoplasma en el que están suspendidos los organelos celulares. El citosol constituye hasta el 55% del volumen celular. Está formado por proteínas (un 20%) y tiene la consistencia parecida a un gel. Muchas de las proteínas del citosol son enzimas relacionadas con el metabolismo intermedio, por lo que actúan en las reacciones de la glucólisis y la gluconeogénesis, así como las de biosíntesis de otros azúcares, ácidos grasos, nucleótidos y aminoácidos.

El citosol de determinados tipos de células contiene también diversas inclusiones. Por ejemplo, las células hepáticas y del músculo esquelético contienen numerosos gránulos de glucógeno, como reservas de energía. Las células de tejido adiposo blanco contienen gotitas de triacilglicerol (triglicéridos) que frecuentemente

coalescen para formar una única gota que ocupa la mayor parte del volumen de la célula (Paniagua *et al*, 2011).

La mayoría de las células poseen estructuras rodeadas por membranas denominadas **organelos**, que realizan funciones específicas. Entre los organelos que se encuentran suspendidos en el citoplasma se distinguen:

- El núcleo.
- Los organelos con membrana que interactúan por medio de vesículas y que constituyen el sistema endomembranoso.
- Los organelos transductores de energía.

### 3.8.3 NÚCLEO.

El núcleo es el organelo más conspicuo y representativo de las células eucariotas y constituye la característica más destacada que las diferencia de las células procariotas. Representa su centro de control pues contiene en el ADN las instrucciones genéticas para el crecimiento y desarrollo de los organismos. Normalmente, la célula no sobrevive mucho tiempo si el núcleo se le ha extraído o se ha deteriorado. Los eritrocitos maduros pueden sobrevivir pocos meses después de que su núcleo se ha degradado. Ver Figura 3.16.

Las células, en su mayoría poseen un solo núcleo, localizándose en el centro de la célula o ligeramente desplazado. Generalmente la forma de los núcleos es esférica, pero puede ser aplanada (como en el caso de células glandulares mucosas) o lobuladas (como los glóbulos blancos polimorfonucleares de la sangre). Existen también núcleos de forma irregular. Hay células con dos o más núcleos. Ejemplos de éstas son las células hepáticas que frecuentemente tienen dos núcleos, y la fibra muscular esquelética que tiene varias decenas de núcleos (Starr y Taggart, 2004).

**Núcleo interfásico.** El núcleo es más que un depósito en el que la cromatina, ARN y proteínas nucleares pueden moverse libremente en una solución acuosa. Por el contrario, el núcleo parece tener una estructura interna que organiza el material genético y localiza las funciones nucleares.

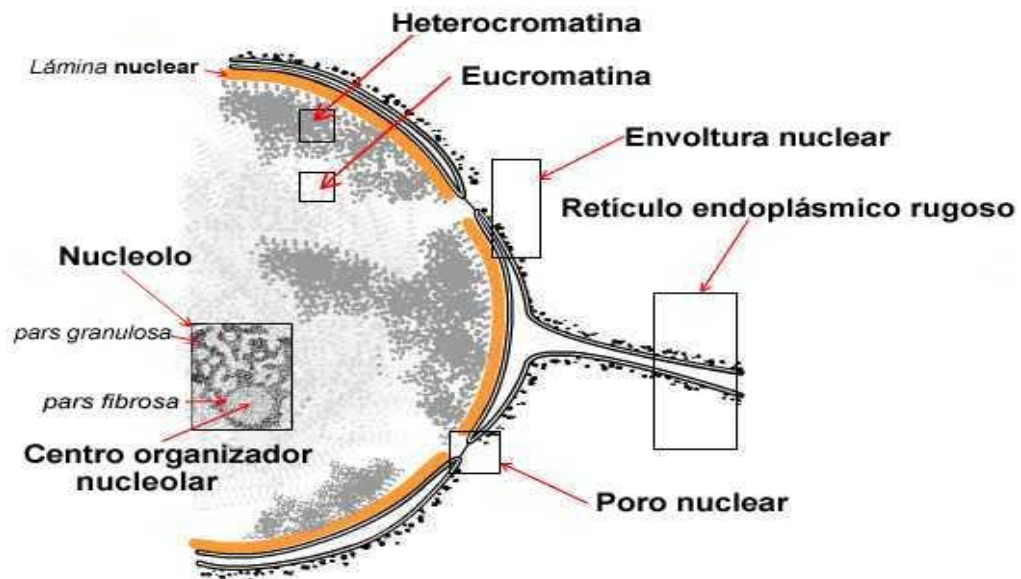
Como la mayoría de las células se dividen por un proceso llamado **mitosis** (mitos, filamento) el núcleo se estudia según su relación con la mitosis. Se denomina **interfase** a la fase celular entre dos mitosis y habitualmente se analiza separadamente el **núcleo en interfase** y el **núcleo en mitosis**. El núcleo interfásico se define como un **núcleo en reposo**. Esta fase presenta una alta actividad metabólica pues, después de la duplicación (replicación) de ADN, habitualmente ocurre la transcripción de diferentes tipos de ARN.

En el núcleo interfásico se distinguen los siguientes componentes:

- **Envoltura nuclear.**
- **Cromatina.**

- **Nucleoplasma.**
- **Nucleolos.**
- **Matriz.**

**Envoltura nuclear.** La envoltura nuclear separa el contenido del núcleo del citoplasma y proporciona un armazón estructural al núcleo. Las membranas nucleares actúan como una barrera selectiva que impide el libre paso de las moléculas entre el interior nuclear y el citoplasma, manteniéndolos como dos compartimientos metabólicamente independientes.



**Figura 3.16.** Esquema del núcleo de una célula eucariota.

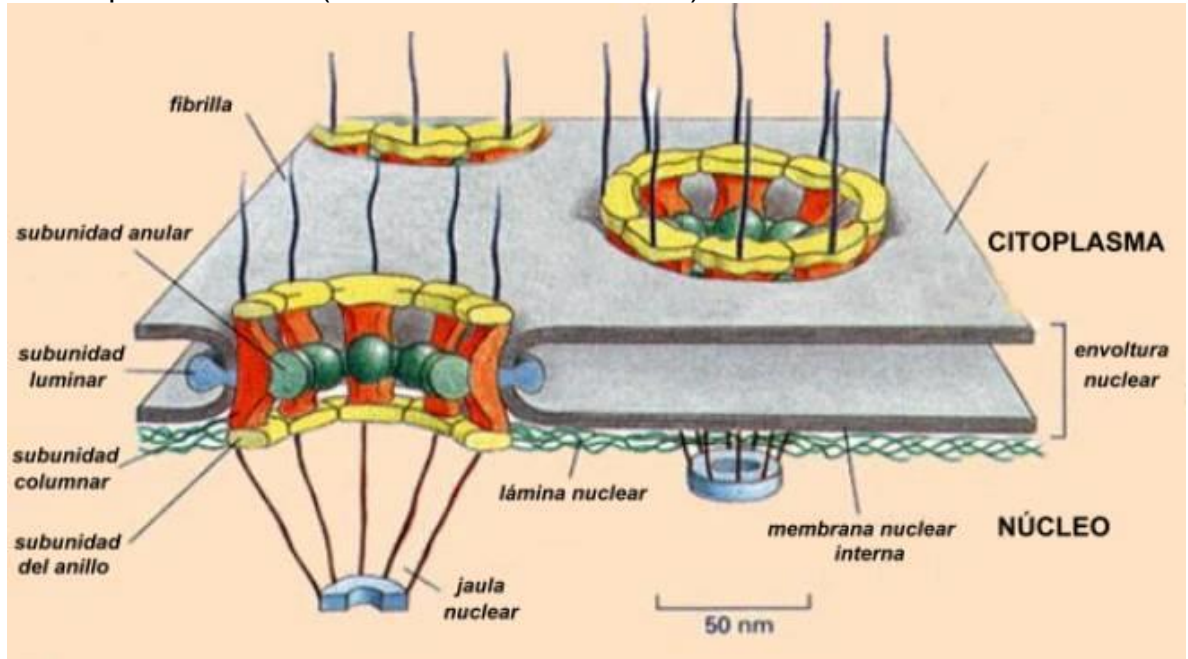
La envoltura nuclear está compuesta por un par de membranas concéntricas separadas por un espacio intermembranoso o cisterna perinuclear y un número variable de poros nucleares. En la membrana externa casi siempre se continúa con la membrana del retículo endoplásmico y sobre ella se sitúan ribosomas dispersos.

Los **poros nucleares** son sitios en los que las membranas nucleares interna y externa se fusionan para formar una abertura circular que ocupa una estructura compleja conocida como **complejo del poro nuclear (CPN)**. La estructura del CPN se asemeja a una canasta con simetría octogonal compuesta de anillos, cubiertas y filamentos. El tráfico selectivo de proteínas y ARN a través de los complejos de poro nucleares no sólo mantiene la composición interna del núcleo sino que tiene un papel clave en la regulación de la expresión génica. (Crisp y Burke, 2008).

La **superficie interna** de la envoltura nuclear de las células animales se une mediante proteínas a una delgada red de filamentos que se conoce como **lámina**



**nuclear.** La lámina nuclear brinda el apoyo mecánico a la envoltura nuclear y sirve como sitio de unión para las fibras de cromatina de la periferia nuclear; asimismo, participa (de una manera que aún no se comprende bien) en la duplicación y transcripción del ADN (ácido desoxirribonucleico). Los filamentos de la lámina



**Figura 3.17.** Esquema general de la envoltura del núcleo en la que se destaca el complejo del poro nuclear CPN.

nuclear miden alrededor de 10 nm de diámetro y se componen de polipéptidos, denominados *lamininas* que son miembros del grupo de proteínas que forman los filamentos intermedios. (Goldman et al, 2002).

Estas lamininas sirven como puntos de unión para la cromatina y organizan otras proteínas en cuerpos nucleares. Muchas otras proteínas nucleares forman complejos dependientes de laminina, y estos complejos forman cuerpos nucleares que intervienen en la reparación del ADN, la organización de la cromatina, la regulación génica y la transducción de la señal. Ver Figura 3.17.

Las mutaciones en uno de los genes de la lámina nuclear son la causa de diversas patologías del ser humano tal como ocurre con la denominada progeria de Hutchinson-Gilford (HGPS, *Hutchinson-Gilford progeria síndrome*), que se caracteriza por envejecimiento prematuro y muerte durante la adolescencia a causa de ataque cardíaco o apoplejía. (Ver figura 3.18).

El **espacio intermembranoso** ó **cisterna perinuclear** es el espacio entre las dos membranas de la envoltura nuclear y contiene las mismas proteínas presentes en las cisternas de retículo endoplásmico. Esta observación, asociada a la continuidad entre la envoltura nuclear y el retículo endoplásmico demuestra que

aquella es una región especializada del retículo endoplásmico.

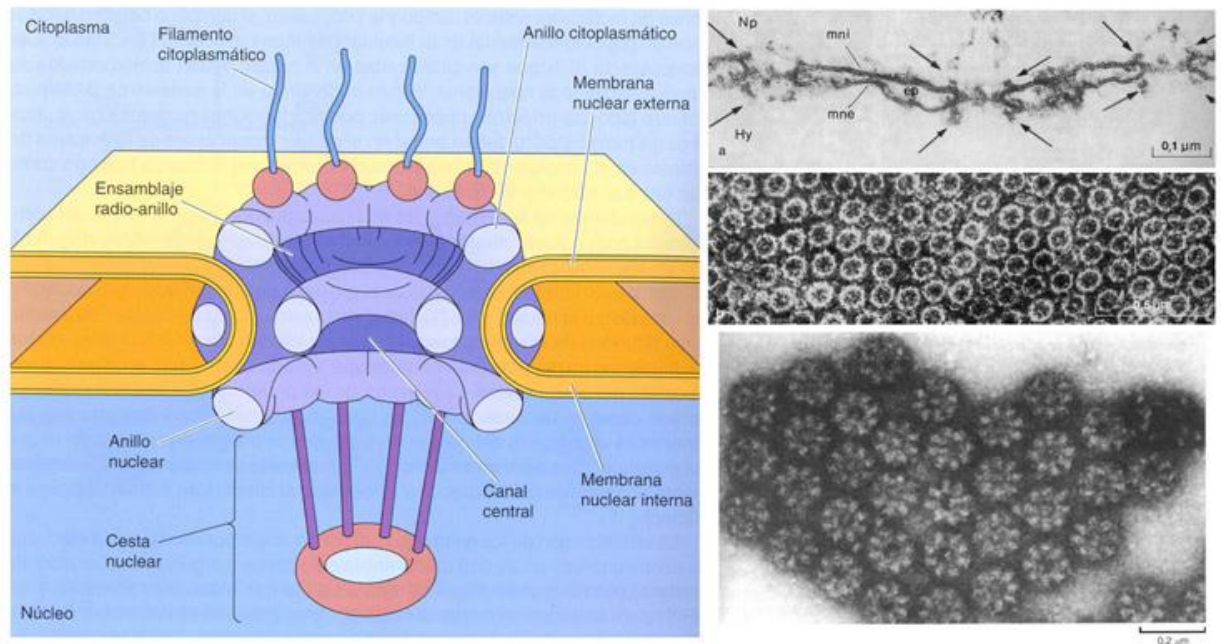


**Figura 3.18.** Niños con el síndrome de progeria de Hutchinson-Gilford.

**Complejo del poro nuclear.** Los complejos del poro nuclear son los únicos canales a través de los cuales pueden viajar pequeñas moléculas polares, iones y macromoléculas (proteínas y ARN) entre el núcleo y el citoplasma. El complejo del poro nuclear es una estructura muy grande con un diámetro de aproximadamente 120 nm y un peso molecular estimado de aproximadamente 125 millones de daltons – unas 30 veces el tamaño de un ribosoma (Buss y Kendrick-Jones, 2004).

Dependiendo de su tamaño, las moléculas pueden pasar a través del complejo del poro nuclear mediante uno de dos mecanismos diferentes. Las moléculas pequeñas y algunas proteínas con un peso molecular inferior a 20-40 kDa pasan libremente a través de la envoltura nuclear en ambas direcciones: del citoplasma al núcleo o del núcleo al citoplasma indistintamente. Estas moléculas difunden de manera pasiva a través de los canales acuosos abiertos, los cuales tienen un diámetro estimado de aproximadamente 9 nm, en el interior del complejo del poro nuclear (Albert *et al*, 2007).

Sin embargo, la mayoría de las proteínas y ARN, no son capaces de pasar por estos canales abiertos. Estas macromoléculas atraviesan el poro central de unos 10-40 nm del complejo del poro nuclear mediante un proceso de difusión facilitada. Estas proteínas que en condiciones normales residen dentro del núcleo contienen un grupo de aminoácidos llamados **señales de localización nuclear (SLN)** que les permite unirse a un receptor (una importina) que los transporta a través del CPN. (Tran y Wenthe, 2006).

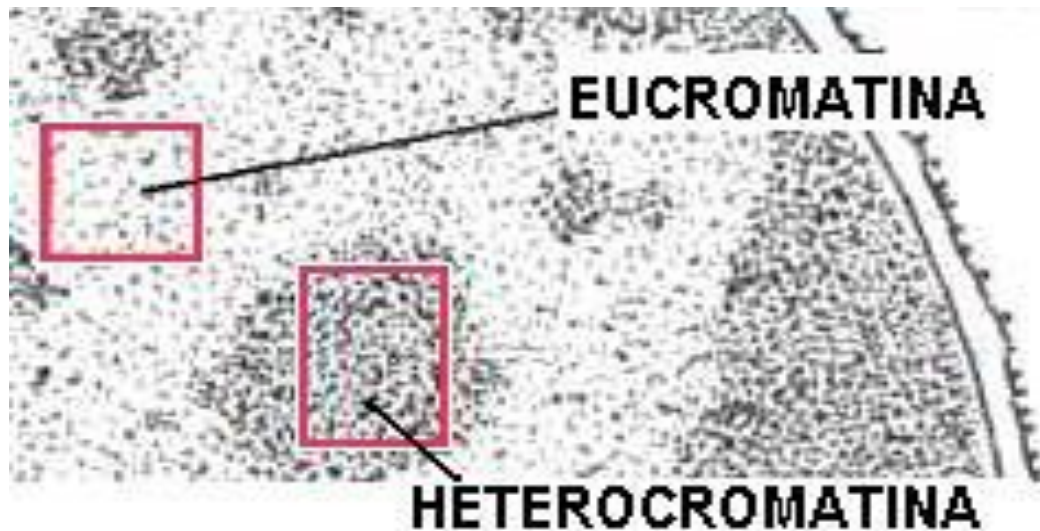


**Figura 3.19.** Esquema representativo de la estructura del complejo del poro nuclear.

**Cromatina y cromosomas.** El término **cromatina** (croma, color) incluye, con excepción de los nucléolos, toda la porción del núcleo que se colorea y es visible al microscopio óptico. La cromatina está formada por desoxirribonucleoproteínas, que presentan varios grados de condensación. El líquido del núcleo se denomina **nucleoplasma**

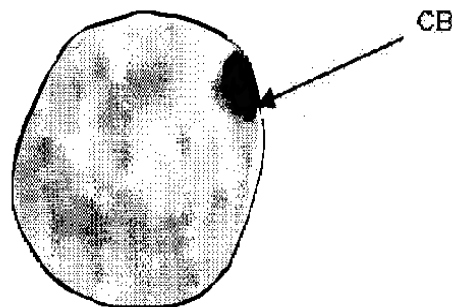
**Heterocromatina y eucromatina.** La cromatina se condensa durante la mitosis para formar los cromosomas compactos metafásicos que se distribuirán a los núcleos hijos. Durante la interfase, una parte de la cromatina (**heterocromatina**) permanece condensada y es transcripcionalmente inactiva; el resto de la cromatina (**eucromatina**) está dispersa y distribuida por todo el núcleo. (Kennedy et al, 2000). Ver figura 3.20.

La heterocromatina se divide en dos clases. La **heterocromatina constitutiva** permanece en el estado compacto en todas las células durante todo el tiempo y por tanto representa el ADN que en forma permanente no realiza transcripción. La **heterocromatina facultativa** es una cromatina que se inactiva de manera específica durante ciertas fases de la vida de un organismo o en ciertos tipos de células diferenciadas.



**Figura 3.20.** Microfotografía electrónica de un núcleo en que se distinguen la eucromatina y la heterocromatina.

Un ejemplo de heterocromatina facultativa puede ser el comparar células de mamífero hembra con las del macho. Las células de los machos tienen un pequeño cromosoma Y y un cromosoma X mucho más grande. Como los cromosomas X y Y tienen pocos genes en común, los machos poseen una sola copia sencilla de los genes localizados en los cromosomas sexuales. Aunque las células de las hembras contienen dos cromosomas X, sólo uno de este par presenta actividad de transcripción. El otro cromosoma X permanece condensado como un cúmulo de heterocromatina que se denominó *corpúsculo de Barr* en honor del investigador que lo descubrió en 1949. Ver figura 3.21.



**Figura 3.21.** Diagrama de una célula en el que se destaca el corpúsculo de Barr.

La formación del corpúsculo de Barr asegura que las células tanto de hembras como de machos tengan el mismo número de cromosomas X activos y por tanto sinteticen cantidades equivalentes de productos codificados por los genes que están incluidos en el cromosomas Y.

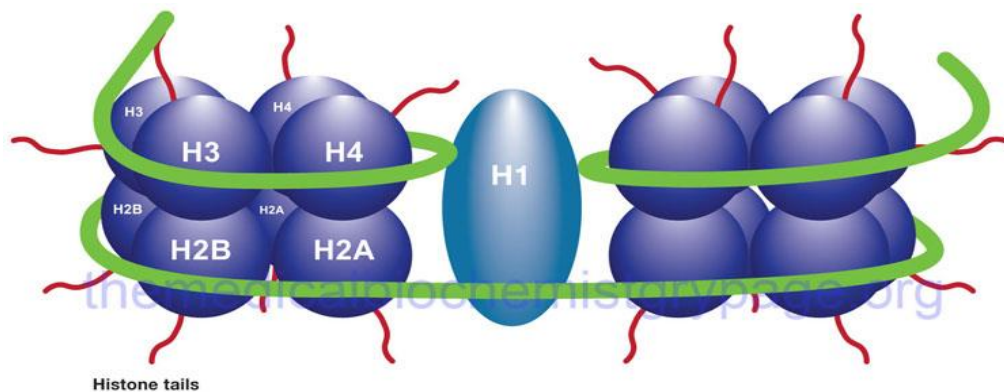
La cromatina está formada químicamente por ADN asociado a proteínas, entre las



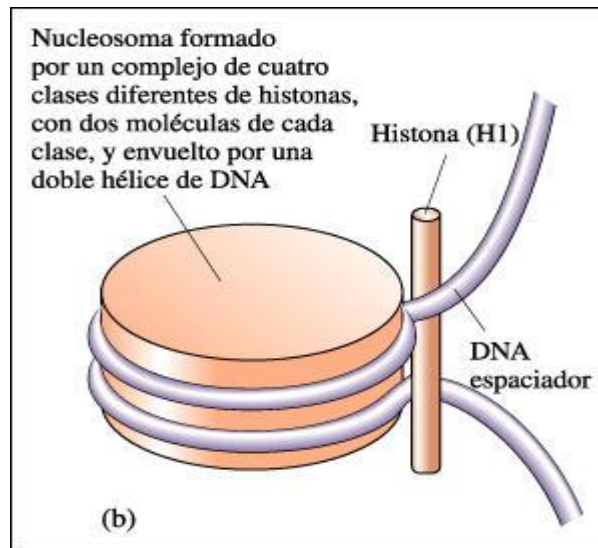
cuales se destacan una clase de **proteínas básicas** de bajo peso molecular denominadas **histonas** y llamadas: H1, H2A, H2B, H3 y H4. Son proteínas pequeñas, ricas en aminoácidos básicos (carga positiva) como arginina y lisina. Además de las proteínas básicas, la cromatina también contiene proteínas no-histónicas y ARN. Las proteínas no – histónicas del núcleo pueden encontrarse unidas al ADN o dispersas en el nucleoplasma. En células metabólicamente más activas, por ejemplo, neuronas y células glandulares, se presenta un alto nivel de proteínas no – histónicas. El núcleo contiene ARN, pues todo el ARN se produce en la cromatina, desplazándose posteriormente al citoplasma (excepto el ARN de las mitocondrias). (Solomon et, al, 2011).

**Cromosomas.** La cromatina se condensa durante la mitosis para formar los cromosomas completos de la metafase que se distribuirán a los núcleos hijos. Los cromosomas están constituidos por filamentos compuestos por una doble cadena de ADN que periódicamente se enrolla dos veces en torno a una partícula proteica constituida por ocho partículas polipeptídicas (octámero) que contienen dos partículas de cada una de las histonas H2A, H2B, H3 y H4. Cada octámero proteico cubierto por dos vueltas del ADN recibe el nombre de **nucleosoma** (soma, partícula). Ver Figura 3.22.

Entre los nucleosomas existe una porción de ADN llamada **región internucleosómica**, que está asociada a la histona H1. Una hebra de ADN y las histonas constitutivas tienen el aspecto de un collar de perlas que mantienen una cierta distancia entre sí. Este collar de perlas se enrolla aproximando los nucleosomas, dando como resultado un filamento de 30 nm de diámetro que aparece en las microfotografías electrónicas de cromosomas tratados por métodos simples. Los filamentos de 30 nm se denominan **fibras de cromatina**. (Branco y Pombo, 2007).



**Figura 3.22.** Estructura de los nucleosomas. La fibra de cromatina extendida revela las unidades repetidas de nucleosomas que aparecen como las cuentas de collar. Cada nucleosoma tiene un núcleo formado por una cadena de ADN enrollado alrededor de un octámero de moléculas de histonas. Tomado de Purves.



**Figura 3.23.** Detalle de la estructura interna de una nucleosoma.

La histona H1 tiene un papel relevante en la formación de estas fibras pues establece puentes entre nucleosomas cercanos. Las fibras de cromatina corresponden a los **cromonemas** de los antiguos citólogos. En la mitosis, las fibras de cromatina se enrollan en espiral en torno a un eje proteico dando origen a los cromosomas con el aspecto condensado típico de la división celular (Purves *et al*, 2001).

**Nucleolo.** El nucléolo es el sitio del núcleo celular donde tiene lugar la transcripción y el procesamiento del ácido ribonucleico ribosomal (ARNr), y el ensamblaje de los ribosomas. Las células necesitan una gran cantidad de ribosomas para satisfacer la necesidad de síntesis de proteínas. Por ejemplo, las células de mamífero en continuo crecimiento contienen entre 5 y 10 millones de ribosomas, que deben sintetizarse cada vez que la célula se divide. El nucléolo es una fábrica de producción de ribosomas, diseñada para cubrir las necesidades de producción a gran escala de los ARNr y de ensamblaje de las subunidades ribosómicas.

El nucléolo no está rodeado por ningún sistema de membranas y se organiza alrededor de las regiones de los cromosomas que contienen los genes para los ARNr 5, 8S, 18S y 28S. (Olson *et al*, 2002).

En la mayoría de las células, los nucléolos que están inicialmente separados se fusionan para formar un único nucléolo. El tamaño del nucléolo depende de la actividad metabólica de la célula, siendo los nucléolos más grandes en aquellas células con una alta actividad de síntesis de proteínas. Esta variación se debe fundamentalmente a las diferencias en el tamaño del componente granular, lo que refleja la tasa de ensamblaje de ribosomas.

**Matriz nuclear.** La presencia de una matriz nuclear es un tema de gran controversia en la comunidad científica, puesto que para algunos investigadores la

matriz es una estructura intrínseca del núcleo, para otros se trata de una red de proteínas producto de las técnicas de observación utilizadas. Según varias investigaciones, la matriz se compone de una red fibrilar de proteínas delgadas que se entrecruzan en el espacio nuclear.

La matriz nuclear sirve como esqueleto o andamiaje para mantener la forma del núcleo o un andamiaje en el que las asas de cromatina se organizan. También sirve para anclar gran parte de la maquinaria que participa en las diferentes actividades del núcleo, inclusive la transcripción, el procesamiento de ARN y la replicación.

#### **3.8.4. SISTEMA ENDOMEMBRANOSO U ORGANELOS CON MEMBRANA.**

El sistema de endomembranas consta de una serie de organelos conectados funcionalmente en los cuales se ensamblan los lípidos y se modifican las nuevas cadenas polipeptídicas. Sus productos se clasifican y se embarcan a diversos destinos.

El sistema endomembranosos comprende los siguientes organelos:

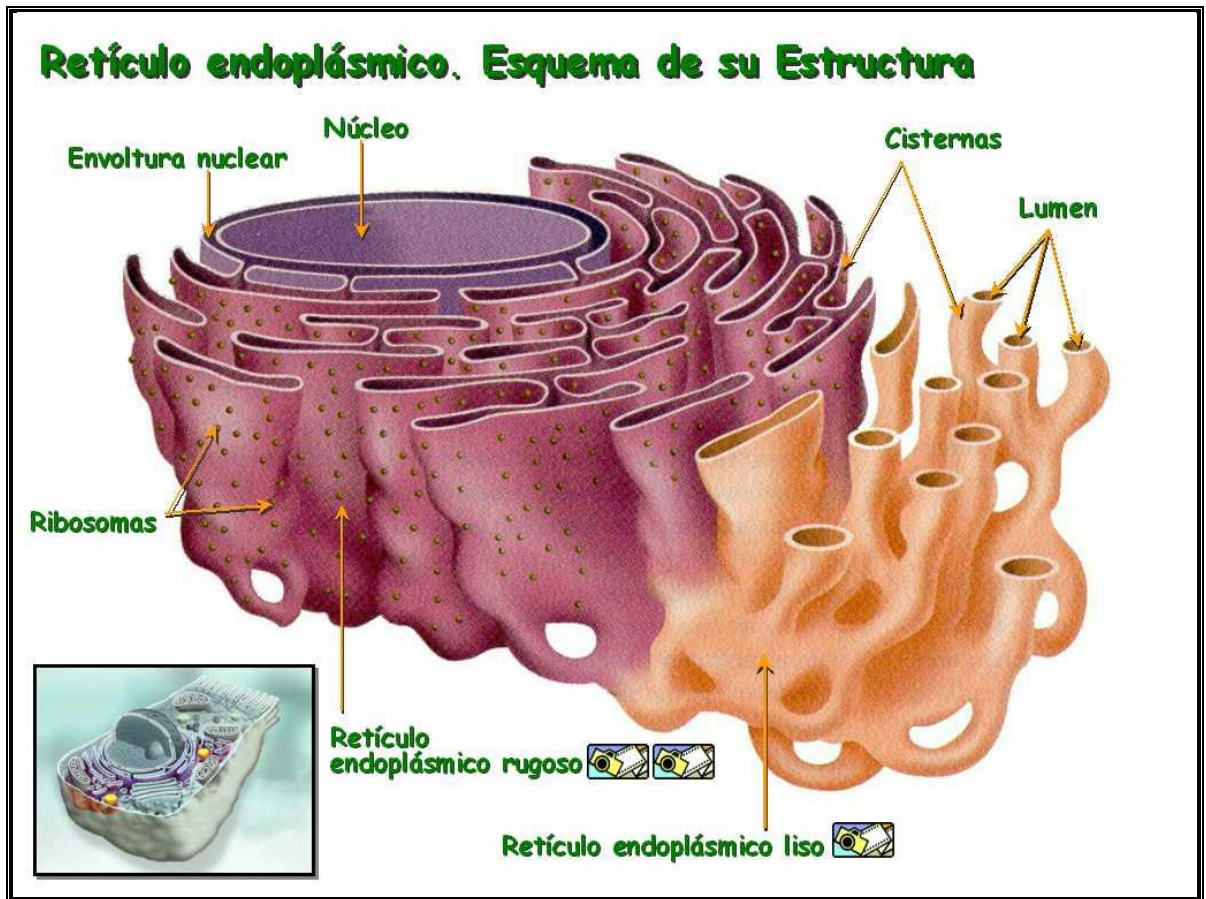
- Retículo endoplásmico (RE)
- Ribosomas
- Aparato de Golgi
- Lisosomas
- Peroxisomas
- Vesículas secretoras

#### ***RETICULO ENDOPLASMICO (RE).***

El retículo endoplásmico es una red de túbulos y sacos (cisternas) rodeados de membrana que se extiende desde la membrana nuclear por todo el citoplasma. Todo el retículo endoplasmático está rodeado por una membrana continua y es el organelo más grande de la mayoría de las células eucariotas. Ver Figura 3.24.

Su membrana puede representar aproximadamente la mitad de todas las membranas de la célula, y el espacio encerrado por el RE (la luz, o espacio de las cisternas) puede representar alrededor del 10% de todo el volumen celular. (Amar-Costesec, 1989).

El retículo endoplásmico se clasifica en dos tipos: *rugoso (RER)* y *liso (REL)*, según presente o no ribosomas adheridos a su superficie. Aunque existe una íntima relación entre ambos tipos de retículo endoplásmico, su diferente distribución topográfica y especialización funcional, hace conveniente estudiarlos por separado. En el hígado se calcula que hay aproximadamente 11m<sup>2</sup> de retículo endoplásmico en 1 cm<sup>3</sup> de tejido. De ese retículo endoplásmico alrededor de 2/3 corresponden al RER.



**Figura 3.24.** Esquema de la estructura interna del retículo endoplásmico.

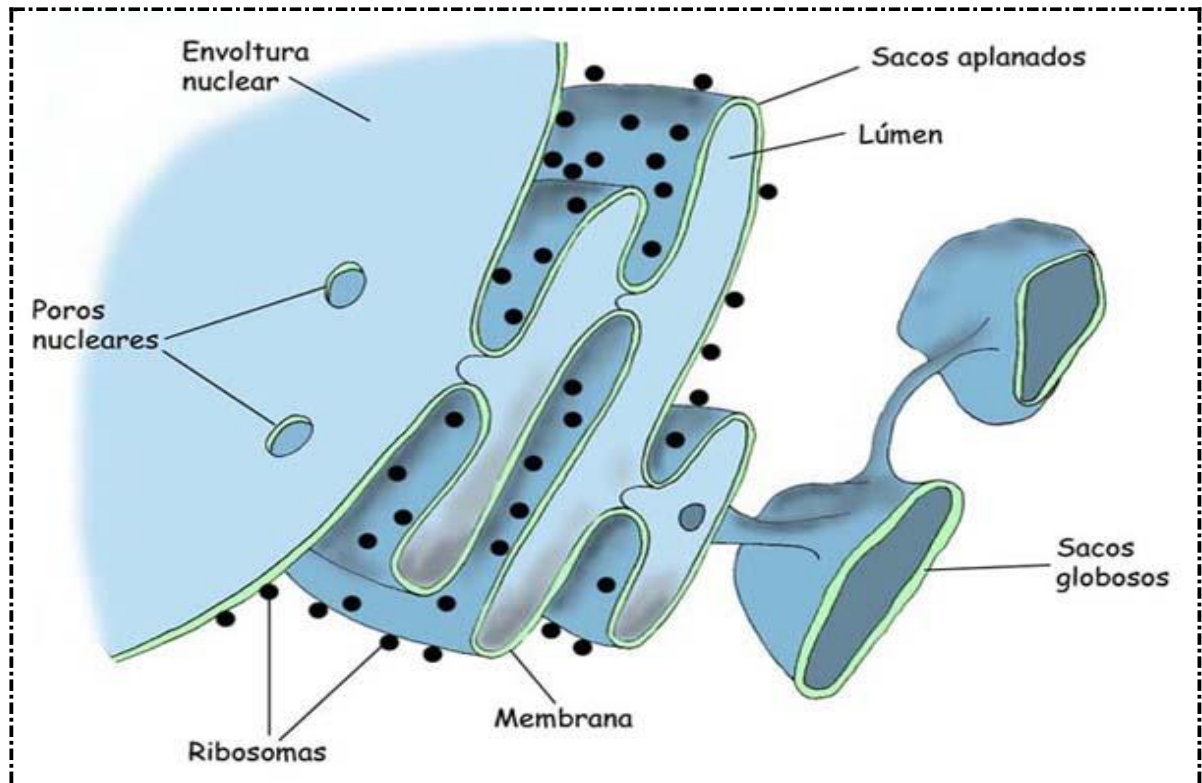
Ambos tipos de RE constituyen un sistema de membranas que encierran un espacio. En consecuencia, el contenido líquido del citoplasma está dividido por el RE en dos compartimentos: un espacio encerrado dentro sus membranas, denominado **espacio luminal** o **cisternal ó lumen**, y la región situada por fuera de las membranas, que es el **espacio citosólico**.

Cuando están presentes, los ribosomas se encuentran en la superficie que enfrenta el espacio citosólico. El RER aparece como un organelo membranoso extenso compuesto principalmente de sacos aplanados (*cisternas*) separados por un espacio citosólico. Las micrografías electrónicas muestran el espacio cisternal del RER dividido en compartimientos separados, pero se cree que todas las cisternas RER se comunican entre sí y que el espacio cisternal es continuo entre ellas.

Los elementos membranosos del REL son típicamente tubulares y forman un sistema interconectado de tuberías que se desplazan a través del citoplasma en el cual se presentan. Diferentes tipos de células tienen cantidades notablemente distintas de RER o del REL, según las actividades de la célula. Por ejemplo, las



células que secretan gran cantidad de proteínas, como las del páncreas o de las glándulas salivales, poseen extensas regiones de RER. (Helenius y Aebi, 2004).



**Figura 3.25.** Esquema del Retículo endoplásmico rugoso (RER) caracterizado por la presencia de ribosomas que se adhieren a las membranas.

**Retículo Endoplásmico Rugoso (RER).** La configuración del retículo endoplásmico rugoso es de cisternas y no de túbulos. La luz (cavidad) del retículo endoplásmico varía mucho: desde unos 20-40 nm hasta casi un micrómetro cuando la luz de la cisterna queda ensanchada por el contenido. Ver Figura 3.25.

Las membranas del RER constan de un 30% de lípidos y un 70% de proteínas; por tanto, estas membranas tienen un mayor contenido en proteínas que la membrana plasmática. En comparación con ésta, las membranas del RER tienen menos colesterol y menos glucolípidos (principalmente esfingomielina) y más fosfatidilcolina. Los ribosomas se fijan a la membrana del RER por la subunidad mayor.

La fijación ocurre en unas proteínas específicas de la membrana del RER denominadas *receptoras del ribosoma*, pero sólo se unen a la membrana del RER aquellas moléculas de ARNm que codifican proteínas con un péptido de señal específica para su reconocimiento por dicha membrana.

**Función del RER.** La principal función del RER es el procesamiento y distribución de las proteínas sintetizadas por los ribosomas para su glucosilación. Las

proteínas que son sintetizadas por los ribosomas libres no se glucosilan, no son empaquetadas y permanecen en el citoplasma. Si han de pasar a algún organelo, lo hacen a través de la membrana del organelo por un sistema de bombeo. (Rapoport, 2007).

La ruptura de la membrana del RER permite la salida de la proteína sintetizada en él hacia el citoplasma, donde se acumula hasta que acaba rompiendo la membrana plasmática y se derrama fuera de la célula. No se observa paso del RER al complejo de Golgi, ni unión del RER a la membrana plasmática; la particularidad del mecanismo es que la célula muere y se convierte en secreción. (Amar- Costese, 1989).

**Retículo endoplásmico liso (REL).** La diferencia fundamental que el retículo endoplásmico liso presenta con el rugoso es la ausencia de ribosomas adheridos a sus membranas. En las células que poseen abundante REL (hígado, corteza suprarrenal, cuerpo lúteo, células de Leydig), éste se distingue morfológicamente del rugoso porque, además de carecer de ribosomas, forma túbulos y no cisternas.

Así, en un corte visto al microscopio electrónico, el REL parece como pequeños túbulos u ojales, y no como largas membranas. Sin embargo, esta configuración generalizada tiene numerosas excepciones.

En las células con muy escaso complejo de Golgi y más abundante REL, como el músculo estriado, se ha establecido que, en comparación con el RER, posee más lípidos y menos proteína. Entre los lípidos hay más esfingomielina y colesterol.

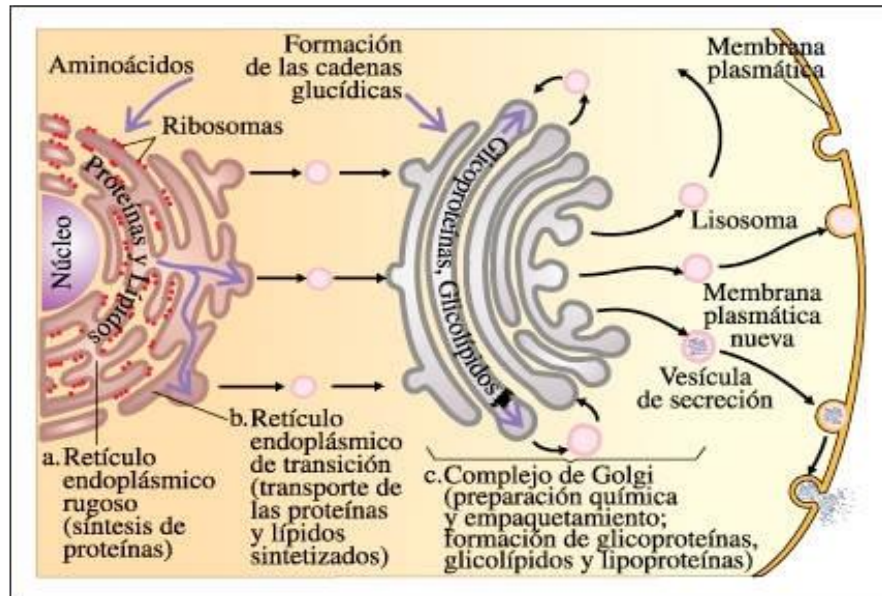
**Funciones del REL.** El REL está muy desarrollado en algunos tipos de células, incluyendo las del músculo esquelético, túbulos renales y glándulas endocrinas productoras de esteroides. Las proteínas específicas del REL varían de una célula a otra según las funciones particulares del organelo, e incluyen:

- ❖ Síntesis de hormonas esteroides en células endocrinas de las gónadas (testículos y ovarios) y la corteza suprarrenal.
- ❖ Desintoxicación en el hígado de gran variedad de compuestos orgánicos, incluyendo, por ejemplo, barbitúricos y etanol. La desintoxicación se efectúa mediante un sistema de enzimas que transfieren oxígeno (oxigenasas), entre las cuales se incluye el citocromo *P450*. (Helenius y Aebi, 2004)

Estas enzimas desintoxicantes inactivan un número importante de drogas potencialmente nocivas (por ejemplo, fenobarbital), convirtiéndolas en compuestos hidrosolubles que pueden eliminarse del cuerpo a través de la orina.

- ❖ Liberación de glucosa a partir de las reservas de glucógeno que se encuentran almacenadas en el hígado en forma de gránulos unidos a la superficie externa de las membranas del REL. Las moléculas de glucosa finalmente se desplazan hacia la corriente sanguínea, donde se transportan a los tejidos del cuerpo.

- ❖ Captura de iones calcio dentro del espacio cisternal. La liberación regulada de  $\text{Ca}^{2+}$  de las membranas REL desencadena respuestas celulares específicas, incluyendo contracción de células musculares esqueléticas.



**Figura 3.27.** Estructura del Retículo Endoplásmico y su relación con otros organelos. Tomado de Curtis y Barnes, 2000.

En síntesis, el retículo endoplásmico es un sistema de membranas común, que puede especializarse en la síntesis proteica, formando el RER, o en otras funciones que son características del REL. Las membranas del REL tienen las mismas dimensiones que las del rugoso y similar composición, pero no idéntica. Ver Figura 3.26.

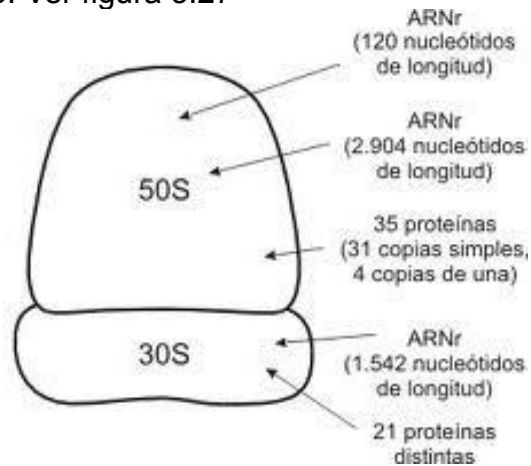
Esta es difícil de determinar, porque, en la centrifugación diferencial, el REL se obtiene en forma de vesículas que, al no tener ribosomas, se confunden con las del complejo de Golgi.

**Ribosomas.** Los ribosomas son organelos sin membrana, sólo visibles al microscopio electrónico debido a su reducido tamaño (29 nm en células procariontas y 32 nm en eucariotas). Están en todas las células vivas. Su función es ensamblar proteínas a partir de la información genética que le llega del ADN transcrita en forma de ARN mensajero (ARNm). Los ribosomas son responsables del aspecto granuloso del citoplasma de las células. Es el orgánulo más abundante, hay varios millones por célula.

**Estructura de los ribosomas.** El ribosomas consta de dos partes, la subunidad mayor y una menor, éstas salen del núcleo por separado. El tamaño de la partícula del ribosomas o del ARN ribosómico se expresa en unidades Svedberg (S) una

medida de la velocidad de sedimentación. Ver figura 3.27.

El ribosoma de las Eubacterias está formado por dos subunidades de 50s y 30s, mientras que el ribosoma de los eucariotas posee 60s, en la subunidad grande y 40s en la subunidad pequeña. El ribosoma se puede unir al retículo endoplasmático rugoso. Ver figura 3.27



**Figura 3.28.** Estructura de los ribosomas en los eucariotas.

La ultraestructura del ribosoma, está formada por ARN ribosómico y proteínas. La función de los ribosomas es la síntesis de proteínas. Este es el proceso mediante el cual el mensaje contenido en el ADN nuclear, que ha sido previamente transcrito en un ARN mensajero, es traducido en el citoplasma, juntamente con los ribosomas y los ARN de transferencia que transportan los aminoácidos, para formar las proteínas unicelulares y de secreción (Brock y Madigan, 1993).

El ribosoma lee el ARN mensajero y ensambla la proteína con los aminoácidos suministrados por los ARN de transferencia. Este proceso se denomina síntesis de proteínas. Para realizar este proceso los ribosomas se asocian en grupos mediante un filamento de unos 2 nm de espesor. Estos ribosomas asociados se denominan **polisomas**, y suelen adoptar una figura en espiral. La subunidad menor queda hacia el interior de la espiral.

Los polisomas se encargan de sintetizar proteínas de localización celular, mientras que los ribosomas del RER se encargan de sintetizar proteínas de exportación, o sea que se irán de la célula hacia otro lugar donde se necesite. Para la síntesis de proteínas se requiere la unión de una subunidad mayor y otra menor. Al terminar de fabricar las proteínas, se separa. Cuando vuelven a sintetizar se unen dos diferentes.

Los ribosomas forman polisomas para realizar cualquier tipo de síntesis proteicas: tanto la efectuada por los ribosomas libres como la realizada por los asociados a membranas (RER). En el RER la subunidad mayor es la que se adosa a la

membrana. (Brock y Madigan, 1993).

**Aparato o complejo de Golgi.** El aparato de Golgi, o complejo de Golgi, funciona como una fábrica en la que las proteínas recibidas desde el RE se procesan y distribuyen para ser transportadas a sus destinos finales: los lisosomas, la membrana plasmática o la secreción. Además, como ya se ha mencionado, los glucolípidos y la esfingomielina son sintetizados en el Golgi. En las células vegetales, el aparato de Golgi, además es el sitio en el que se sintetizan los polisacáridos complejos de la pared celular. Así, aparato de Golgi está implicado en procesar el amplio espectro de constituyentes celulares que viajan a lo largo de la vía secretora. (Altan- Bonnet et al, 2004).

**Organización.** El complejo de Golgi tiene morfología característica que consiste en cisternas aplanadas, discoides, con rebordes amplios relacionados con vesículas y túbulos. Las cisternas, cuyos diámetros de ordinario son de 0.5 a 1.0  $\mu\text{m}$ , se disponen en pilas ordenadas; denominadas **dictiosomas**. Cada dictiosoma en un conjunto de cisternas aplanadas, separadas entre sí entre 20 y 30 nm, en cuya periferia hay vesículas de diversos tamaños. (Paniagua et al, 2011).

Típicamente, la pila de Golgi contiene menos de ocho cisternas; una célula individual puede contener desde unas cuantas hasta varios miles de pilas, según el tipo de célula. Puesto que las membranas del complejo de Golgi están desprovistas de ribosomas, se clasifican como membranas lisas. Ver Figura 3.28.

Un aspecto llamativo del aparato de Golgi es su polaridad tanto en la estructura como en la función. Las proteínas procedentes del RE entran por su cara *cis* convexa (cara de entrada), y habitualmente se orienta hacia el núcleo. Entonces son transportadas a través del Golgi y salen por su cara cóncava *trans* (cara de salida). Según atraviesan el Golgi, las proteínas se modifican y se distribuyen para el transporte a sus destinos finales en la célula (De Matteis y Luini, 2008)

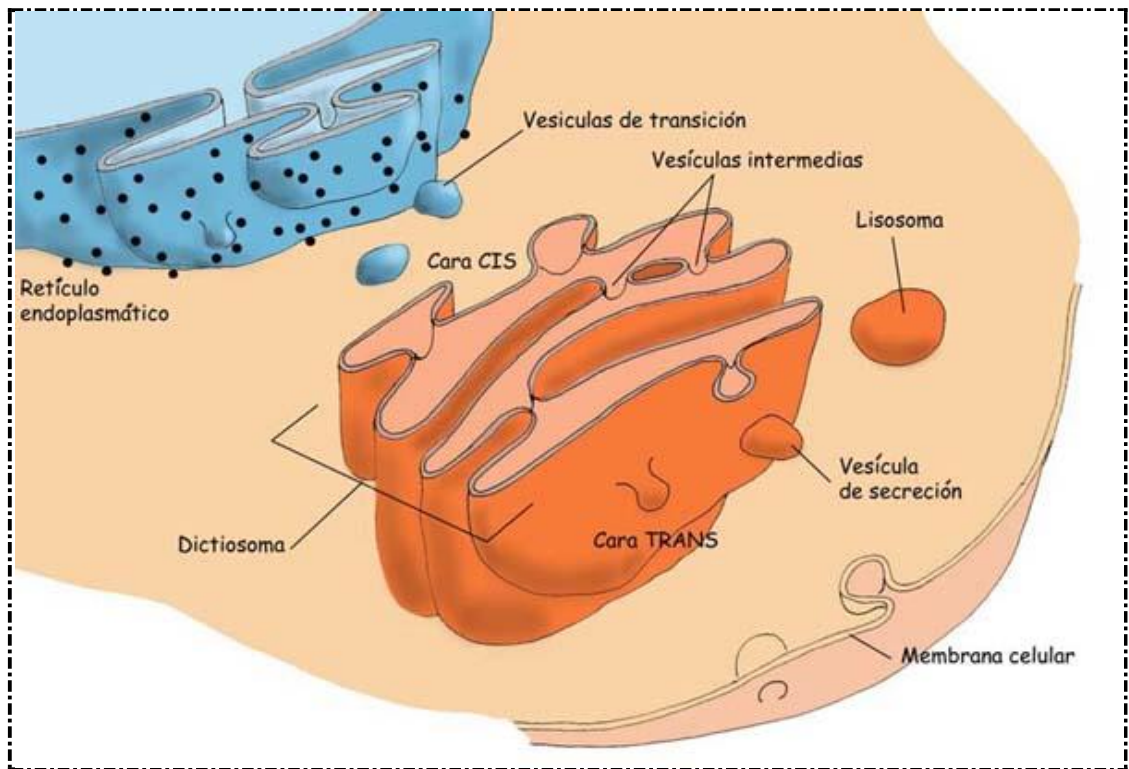
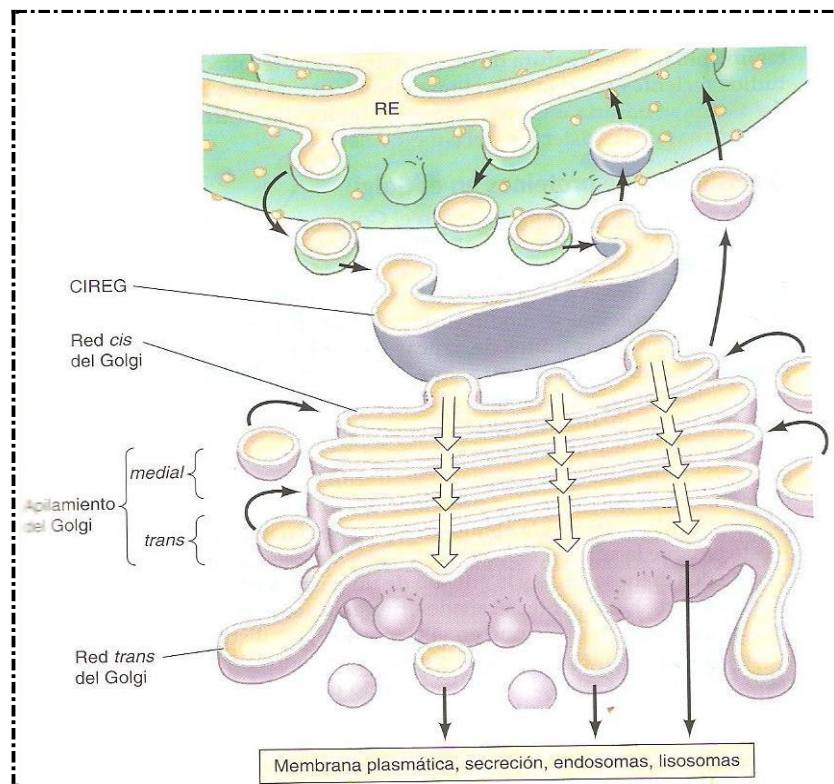


Figura 3.28. Esquema representativo de la estructura interna del aparato de Golgi.





**Figura 3.29.** Compartimientos del cuerpo de Golgi.

**Metabolismo de carbohidratos y lípidos en el Golgi.** La función definida con mayor claridad del complejo de Golgi es el ensamble de carbohidratos. El complejo de Golgi es el sitio donde se concluye el ensamblado de oligosacáridos a glucoproteínas y glucolípidos. El complejo de Golgi también es sitio de síntesis de la mayor parte de los complejos polisacáridos de la célula, incluyendo, por ejemplo, los glucosaminoglucanos observados en la matriz extracelular de células animales o las pectinas y la hemicelulosa que se encuentran en las paredes celulares de las plantas (Presley *et al*, 2007).

**Lisosomas.** *Los lisosomas son organelos rodeados de membranas que contienen una serie de enzimas capaces de degradar toda la clase de polímeros biológicos – proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Los lisosomas funcionan como el sistema digestivo de la célula, y sirven tanto para degradar el material captado del exterior de la célula como para digerir los componentes obsoletos de la propia célula.*

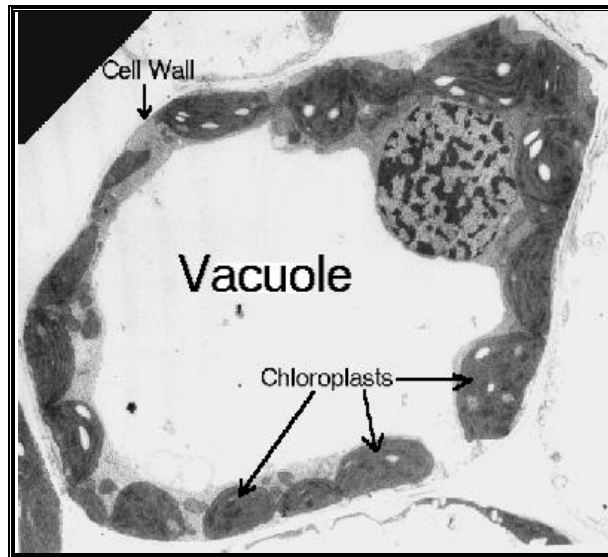
En su forma más sencilla, los lisosomas se observan como bolsas esféricas densas, pero pueden exhibir diversidad de tamaños y de formas en función de los distintos materiales que hayan captado. Por tanto, los lisosomas representan organelos morfológicamente diversos definidos por la función común de degradar material intracelular. (Baiton, 1981).

**Estructura y composición.** Los lisosomas contienen enzimas hidrolíticas que, de liberarse, destruirían toda la célula. Esto implica que su membrana debe estar especialmente protegida frente a la acción de estas enzimas. El diámetro de los lisosomas, aun siendo muy variable, viene a ser alrededor de los 0.5  $\mu\text{m}$ , casi en el límite de resolución del microscopio de luz, aunque también con él pueden ser distinguidos utilizando técnicas especiales (Dice, 1992).

La heterogeneidad de la morfología lisosomal contrasta con la de otros organelos. Inicialmente se pensó que los lisosomas serían iguales en todas las células, pero con posterioridad se comprobó que sus dimensiones y contenido son muy variables, aunque pudo constatarse que existen lisosomas en todas las células animales. No se han observado en las células vegetales (donde la fosfatasa ácida parece encontrarse en la vacuola). Su polimorfismo se debe a que actúan como vacuolas digestivas y esto proporciona un contenido heterogéneo. Con frecuencia contienen metales pesados. (Luzio *et al*, 2005).

En cualquier caso, una característica común a todos los lisosomas es que contienen *hidrolasas ácidas*. Hasta ahora se han identificado unas 40 enzimas diferentes, que degradan proteínas (*proteasas*), ácidos nucleicos (*nucleasas*: *ADNasa* y *ARNasa*), ésteres de sulfato (*arilsulfatasas*), lípidos (*lipasas* y *fosfolipasas*) o fosfatos de moléculas orgánicas (*fosfatasa*s) (Fukuda, 1991).

**Vacuolas vegetales.** En las células vegetales los lisosomas no parecen constituir una entidad morfológicamente definida. Estas células contienen una amplia variedad de hidrolasas ácidas capaces de digerir los constituyentes del citoplasma y los metabolitos. Pero estas enzimas se encuentran en diferentes estructuras rodeadas por membrana, entre las cuales la vacuola vegetal ocupa un puesto prominente. Además, hay también hidrolasas en la pared celular; esto es, en el espacio extracelular. (Boller y Kende, 1989).



**Figura 3.31.** Las vacuolas ocupan la mayor parte del volumen en ciertas células de los tejidos vegetales.

Más del 90% del volumen de muchas células vegetales se encuentra ocupado por una sola **vacuola** llena de líquido y rodeada por una membrana (**tonoplasto**). En la vacuola se encuentra el **jugo vacuolar** de apariencia amorfa pero a veces también puede observarse estructuras de mayor tamaño, cristalina o no, según los productos que almacene la vacuola y que guardan relación con su función (Fineran, 1991).

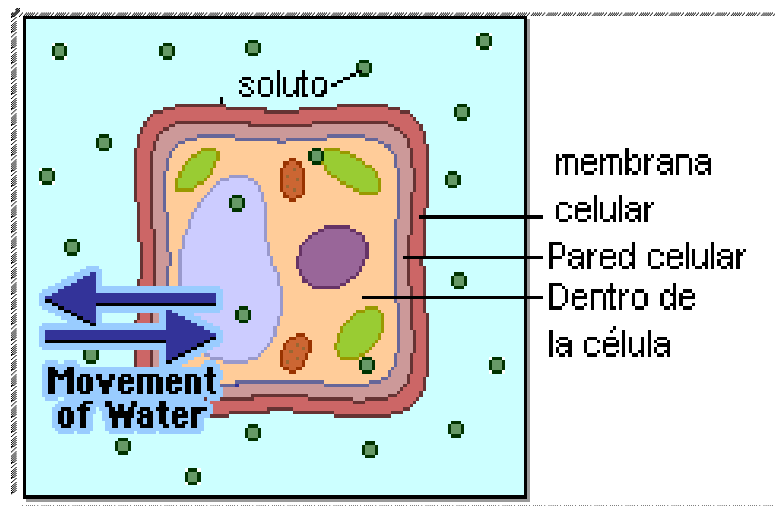
Aunque de estructura sencilla, las vacuolas de las plantas efectúan una amplia gama de funciones esenciales. Sirven como depósito transitorio para muchos solutos de la célula y de macromoléculas, incluyendo iones, azúcares, aminoácidos, proteínas y polisacáridos. Las vacuolas también pueden almacenar algunos compuestos tóxicos. Estos compuestos (como los glucósidos que contienen cianuro y los glucosinolatos) forman parte de un arsenal químico de armas liberadas cuando la célula es lesionada por un herbívoro o por hongos (Matilde, 1998).

Otros compuestos tóxicos son simplemente subproductos de reacciones metabólicas. Puesto que las plantas carecen de sistemas de tipo excretorio, como los observados en animales, ellas utilizan sus vacuolas como medio para eliminar estos subproductos del resto de la célula. Algunos de estos compuestos, como la



digital (*Digitalis purpurea*), han demostrado tener un valor clínico importante. (Dunn, 1990).

**Turgencia celular.** Las células vegetales conservan una presión de líquido elevada (turgencia) que empuja la pared celular hacia afuera y conserva la forma de la célula. La presión por turgencia es generada por la elevada presión osmótica de la vacuola. La membrana que rodea la vacuola, denominada **tonoplasto**, contiene algunos sistemas de transporte activo que bombean iones al interior del compartimiento de la vacuola hasta alcanzar una concentración mucho más alta que la del líquido extracelular.



**Figura 3.31.** En la turgencia vegetal la pared celular y las vacuolas intervienen para regular el flujo agua de la célula.

Debido a la elevada concentración iónica, el agua penetra a la vacuola por ósmosis. La presión ejercida por turgencia en la vacuola no sólo suministra apoyo mecánico a los tejidos blandos de una planta, sino también proporciona la fuerza necesaria para estirar la pared celular y permitir que las células vegetales aumenten de volumen. Ver Figura 3.31

**Inclusiones citoplasmicas.** Esta expresión designa estructuras o materiales almacenados en el citoplasma, pero no son organelos o componentes principales de la célula, sino productos de su actividad metabólica que han quedado dentro de ella. En la práctica, dicha expresión designa alimentos almacenados y ciertos pigmentos. (Wegin et al, 1970).

**Alimentos almacenados. Carbohidratos:** En células hepáticas y musculares, pero también en muchos otros tipos celulares, los carbohidratos se almacenan como glucógeno, que es un polímero ramificado de la glucosa. Cada gránulo de glucógeno es una sola molécula, consistente en una cadena muy ramificada, rodeada por las enzimas que participan en su formación y degradación.

**Grasas.** Las grasas se almacenan en el tejido adiposo pero también en células

normales, como hígado y músculo. Algo de grasa puede haber en muchos tipos celulares. Las inclusiones citoplasmáticas formadas por lípidos son, en su mayoría, *grasas neutras* (*triglicéridos de ácidos grasos*) a un grado de insaturación suficiente para ser líquidos a la temperatura corporal. Constituyen también una fuente de energía al ser degradadas en glicerol y ácidos grasos (Suarez *et al*, 1997)

**Pigmentos.** Los pigmentos dan un color natural al tejido, sin necesidad de tinciones. Para que pueda hablarse de pigmento, esas sustancias han de poseer color durante la vida de la célula.

Los pigmentos pueden clasificarse en:

**Pigmentos exógenos.** Originados fuera del organismo y que entran en él:

---*Lipocrosomas-carotenoides.* Abundantes en vegetales (para ellos son endógenos). Los organismos animales los ingieren de los vegetales y quedan disueltos en sus grasas. Así, dan color amarillo al huevo, a la manteca, o incluso a la grasa humana. Algunas formas de caroteno son provitaminas que pueden convertirse en vitamina A.

---*Minerales.* Polvo, tintas y sustancias como plata, sílice y carbón que, por ejemplo, se encuentran formando parte de los tatuajes.

**Pigmentos endógenos.** Se forman dentro del organismo. Algunos de ellos son:

---*Hemoglobina.* Se encuentran en el interior de los eritrocitos.

---*Melanina.* De color pardo o negro. Se encuentran en la piel y sus anexos y en el ojo. Se produce en los melanocitos. Una variedad de la melanina es la *feomelanina*, de color anaranjado.

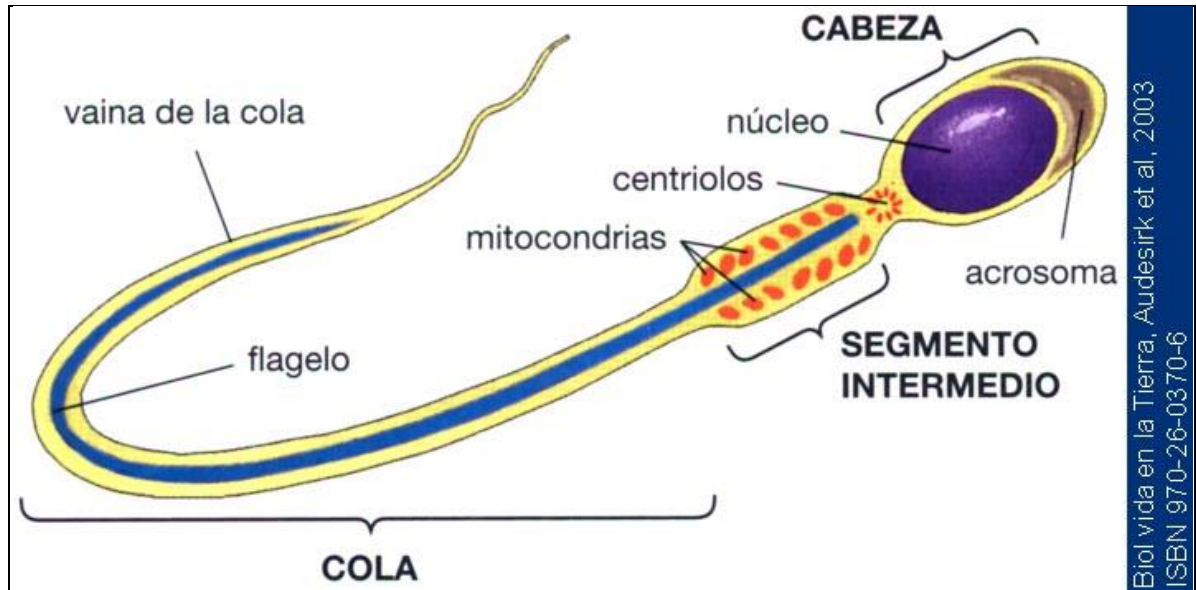
### 3.8.5 ORGANELOS TRANSDUCTORES DE ENERGÍA

*La célula posee dos organelos transductores de energía, es decir que convierten un tipo de energía en otra: las mitocondrias y los cloroplastos.*

**Mitocondrias.** *Las mitocondrias son organelos celulares encargados de suministrar la mayor parte de la energía necesaria para la actividad celular. Actúan, por lo tanto, como centrales energéticas de la célula y sintetizan ATP a expensas de los carburantes metabólicos (glucosa, ácidos grasos y aminoácidos).*

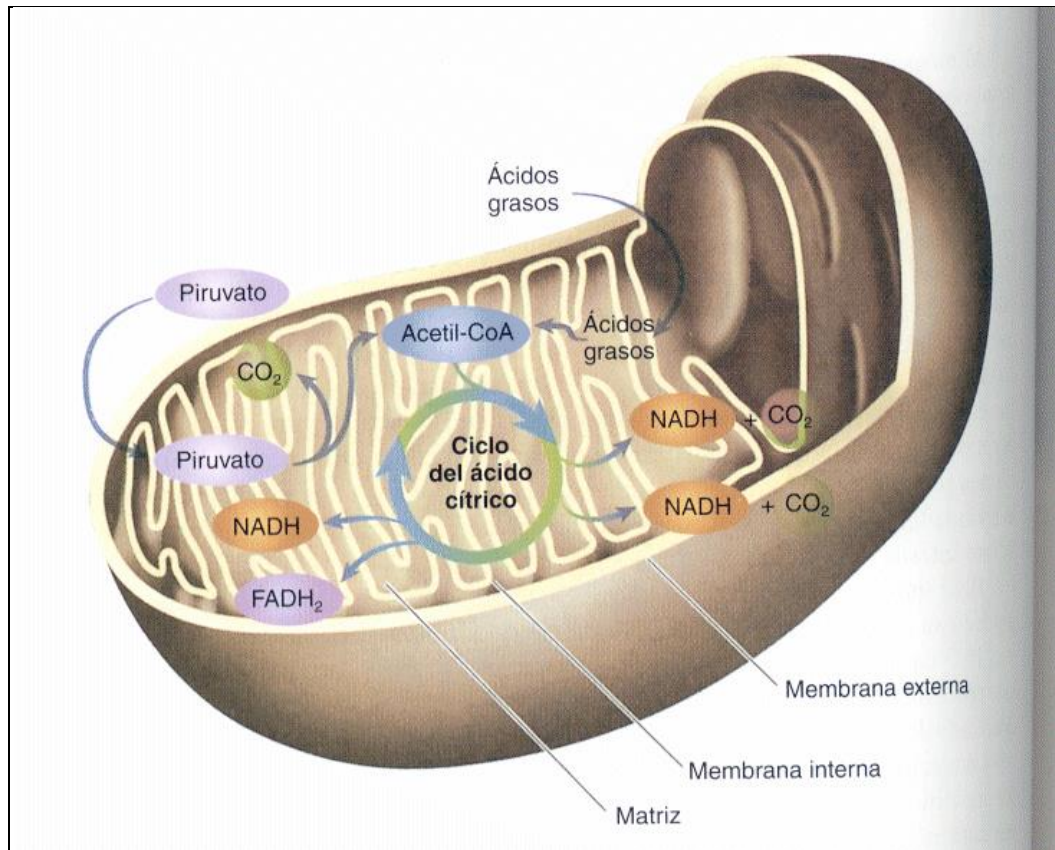
Las mitocondrias se originan por crecimiento y partición de otras mitocondrias preexistentes. Cuando la célula crece el número de mitocondrias aumenta en proporción a este mecanismo; cuando la célula se divide sus mitocondrias se reparten por igual entre las dos células hijas. Paralelamente al proceso de división de la mitocondria se produce la replicación de su ADN (Westermann, 2008).

Sin embargo, cuando un óvulo es fecundado por un espermatozoide ocurre un curioso fenómeno: la fusión de ambos se da de tal modo que, prácticamente, las mitocondrias presentes en el cigoto proceden, en exclusiva, del propio óvulo. En otros términos, el espermatozoide no aporta sus mitocondrias al cigoto, aunque excepcionalmente puede penetrar una mitocondria seminal. Ver Figura 3.32.



**Figura 3.32.** Estructura general de un espermatozoide, en donde se destaca la presencia de las mitocondrias.

Además del metabolismo energético, las mitocondrias realizan la síntesis de muchas sustancias, incluidos aminoácidos y los grupos hem. También tienen una participación vital en la captación y liberación de iones calcio, que son iniciadores esenciales de actividades celulares y junto con el retículo endoplásmico, las mitocondrias tienen una función importante en la regulación de la concentración de



**Figura 3.33.** Esquema de la estructura de la mitocondria.

Ca<sup>2+</sup> del citosol. La apoptosis o muerte celular, también se regula en gran medida por fenómenos que ocurren en las mitocondrias. (chan, 2006).

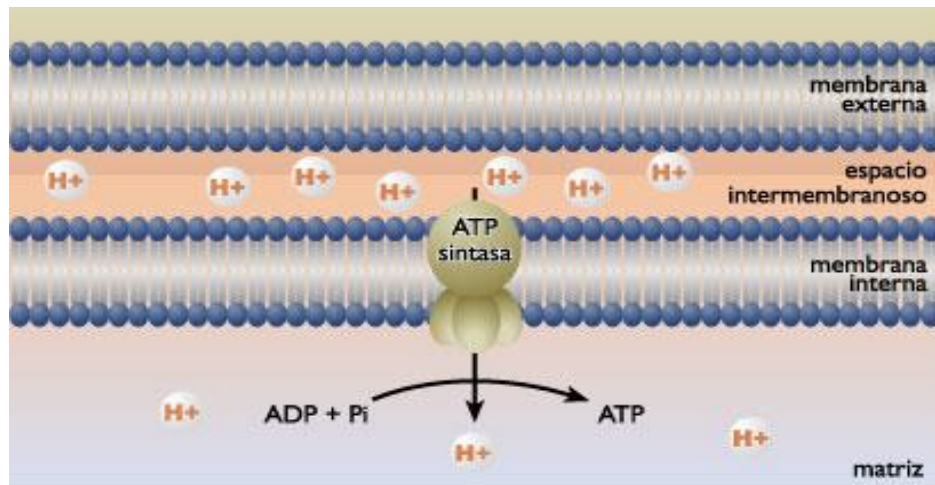
**Estructura mitocondrial.** En las mitocondrias se distinguen las siguientes estructuras:

- Membrana externa.
- Membrana interna.
- Espacio intermembranoso.
- Matriz mitocondrial. Ver figura 3.33.

**Membrana externa.** Las membranas externa e interna tienen propiedades diferentes. La membrana externa es una bicapa lipídica permeable de iones, metabolitos y muchos polipéptidos. Casi el 50% del peso de la membrana externa lo constituyen los lípidos y contiene una mezcla curiosa de enzimas que participan en actividades tan diversas como la oxidación de adrenalina, la degradación del triptófano y la elongación de los ácidos grasos (Detmer y Chan, 2007).

La membrana mitocondrial externa contiene *porinas*, que son proteínas integrales que poseen un canal interno relativamente grande (2 a 3 nm), rodeado por un

barril de cadenas  $\beta$ . Las porinas de la membrana mitocondrial externa pueden realizar un cierre reversible como respuesta a las condiciones dentro de la célula.



**Figura 3.34.** Representación de las membranas mitocondriales.

Cuando los canales de porina están abiertos, la membrana externa es permeable a moléculas como el ATP, NAD y coenzima A, que tienen funciones clave en el metabolismo energético dentro de la mitocondria. La membrana externa realiza relativamente pocas funciones enzimáticas o de transporte. Contiene entre un 60 y 70% de proteínas. (O' Rourke, 2007).

**Membrana interna.** Esta estructura es impermeable; y altamente selectiva. Carece de porinas por lo cual todos los iones y moléculas requieren transportadores de membrana especiales para ingresar a la matriz. Ver Figura 3.34.

La membrana interna contiene más proteínas (más de 100 polipéptidos diferentes) que la externa, y posee muchos complejos enzimáticos y sistemas de transporte transmembrana, que están implicados en la translocación de moléculas. Esta membrana forma invaginaciones o pliegues llamadas **crestas mitocondriales**, que aumentan mucho la superficie para el asentamiento de dichas enzimas. En la composición de la membrana interna abundan las proteínas (un 80%), que son además exclusivas de este organelo. La configuración de la membrana interna y la aparente fluidez de su bicapa facilitan las interacciones para la síntesis de ATP.

**Espacio intermembranoso.** Entre ambas membranas queda delimitado un espacio intermembranoso compuesto de un líquido similar al citoplasma. Posee una alta concentración de protones como resultado del bombeo de los mismos por los complejos enzimáticos de la cadena respiratoria. En él se localizan diversas enzimas que intervienen en la transferencia del enlace de alta energía del ATP (Schrader y Yoon, 2007).

**Matriz mitocondrial.** La matriz tiene consistencia parecida a un gel por la presencia de una elevada concentración de proteínas hidrosolubles (hasta 500 mg/ml).

Sin embargo, los rasgos diferenciales más relevantes son la presencia de ribosomas y de moléculas de ADN. Los ribosomas de la matriz mitocondrial, denominados **mitorribosomas**, son más pequeños que los del citoplasma y guardan gran parecido con los que se encuentran en las células procariotas; en ellos se sintetizan algunas de las proteínas mitocondriales.

Las moléculas de ADN mitocondrial son bicatenarias y circulares, similares a los cromosomas bacterianos; contienen la información genética necesaria para la síntesis de algunas proteínas mitocondriales. Por consiguiente, las mitocondrias tienen su propio material genético, ADN mitocondrial y los mecanismos para producir su propio ARN y proteínas. Por varias razones el mtDNA es apropiado para su uso en el estudio de las migraciones y la evolución del ser humano. Por ejemplo, varias compañías emplean secuencias de mtDNA para rastrear el linaje de clientes que buscan sus raíces étnicas o geográficas. (Karp, 2011).

El código genético del ADN mitocondrial no suele ser el mismo que el código genético del ADN nuclear. A lo largo de la historia común, la mayor parte de los genes mitocondriales han sido transferidos al núcleo, de tal manera que la mitocondria no es viable fuera de la célula huésped y ésta no suele serlo sin mitocondrias.

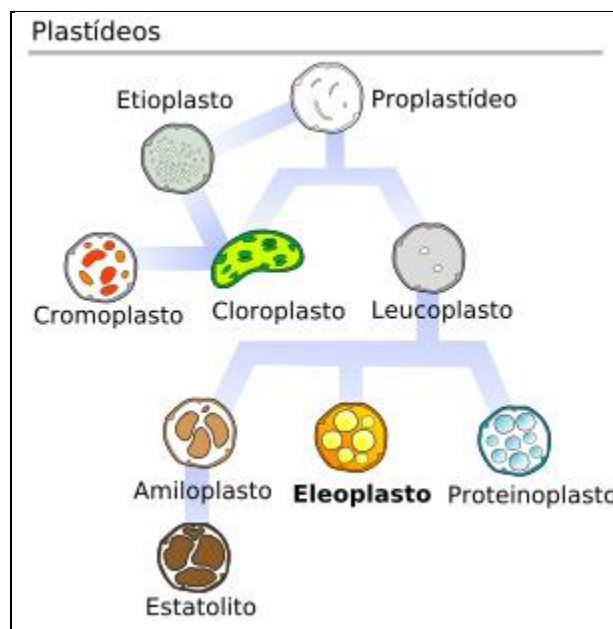
El ADN mitocondrial puede dañarse con los radicales libres formados en la mitocondria; así, enfermedades degenerativas relacionadas con el envejecimiento, como la enfermedad de Parkinson, la enfermedad de Alzheimer y las cardiopatías pueden tener relaciones con lesiones mitocondriales. En la matriz mitocondrial tienen lugar diversas rutas metabólicas clave para la vida, como el ciclo de Krebs y la beta-oxidación de los ácidos grasos; también se oxidan los aminoácidos y se localizan algunas reacciones de la síntesis de urea y grupos hemo. (Westermann, 2008).

**Plastidios.** Los plastidios son organelos exclusivos de las células vegetales, capaces de realizar la fotosíntesis y almacenar sustancias orgánicas primordiales, como los carbohidratos, aunque no todos los plastidios realizan las funciones mencionadas. Hay diversos tipos de plastidios, pero todos tienen en común la presencia de doble membrana; ADN y ribosomas. Según su aspecto y función, los plastidios pueden clasificarse en:

- ❖ *Cloroplastos.* Contienen abundante clorofila, que proporciona el color verde a las hojas. Realizan la fotosíntesis.
- ❖ *Cromoplastos.* Contienen variados carotenoides que, mezclados con otros pigmentos, comunican diversos colores a flores y frutos.



- ❖ *Leucoplastos*. Son incoloros y fotosintéticamente inactivos. Están especializados en almacenar sustancia de reservas y se clasifican en varios subtipos según la sustancia almacenada:
  - *Amiloplastos* (almidón)
  - *Oleoplastos* (grasas)
  - *Proteinoplastos* (proteínas).
- ❖ *Proplastos*. Son plastidios indiferenciados capaces de originar los demás plastidios. En condiciones experimentales, cuando se diferencian con la luz originan cloroplastos, pero si lo hacen en la oscuridad originan un tipo especial de plastidio denominado *etioplasto* (Bororad, 1981). Ver Figura 3.35.

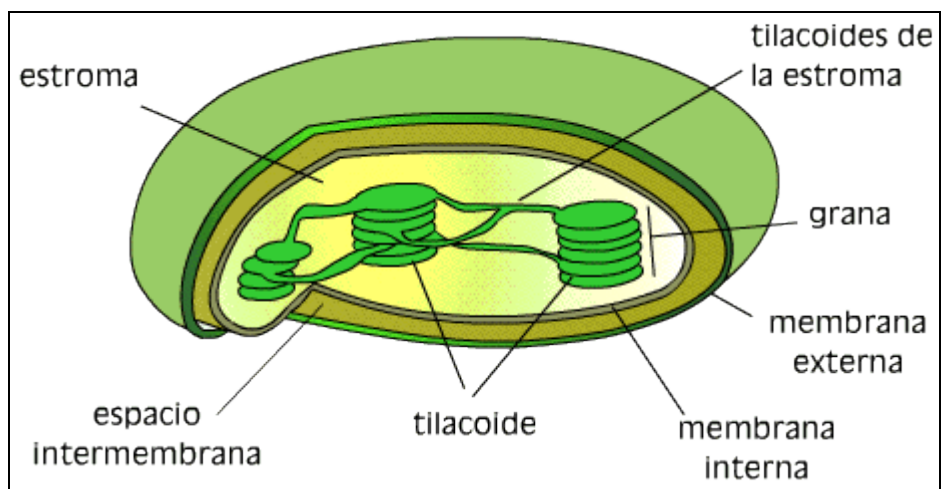
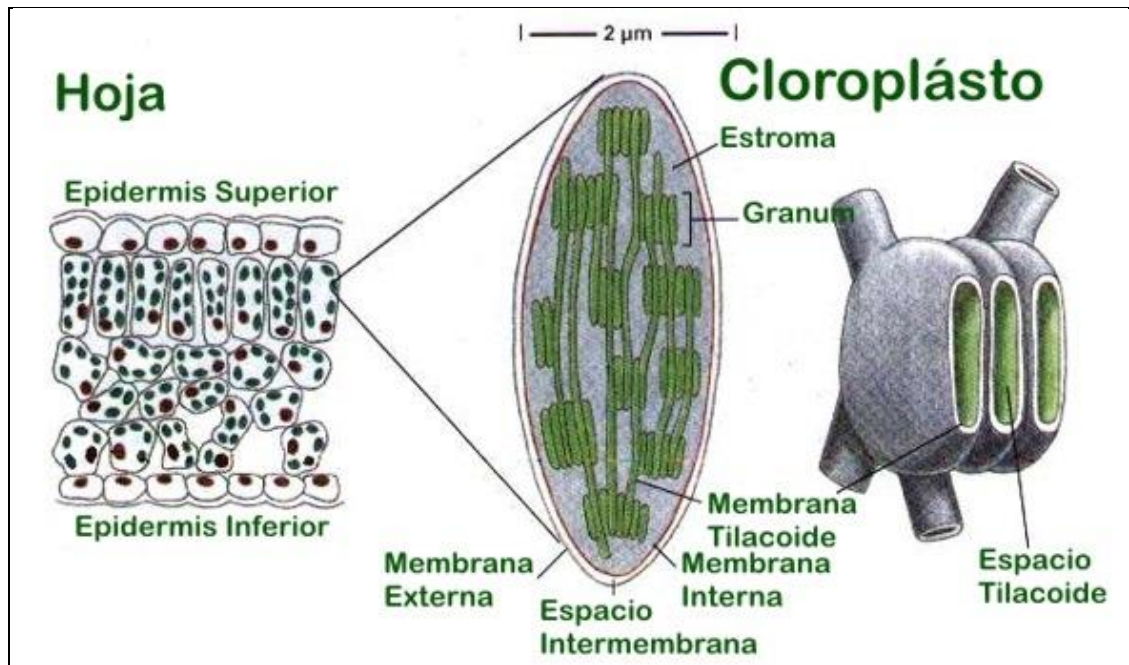


**Figura 3.35.** Plastidios más frecuentes en los vegetales.

**Cloroplastos.** Los cloroplastos llevan a cabo la fotosíntesis en los órganos verdes de las plantas, especialmente en las hojas y en algunos tallos especializados (Cactus). Su número varía de un lugar a otro de la planta y según el tipo celular en el que se encuentran. En el parénquima clorofílico de la hoja son muy abundantes (hasta 30 ó 40 por célula). Se sitúan en la periferia de la célula, alrededor de la gran vacuola central, y su posición varía en relación con la luz. Con luz tenue, los cloroplastos se disponen paralelamente a la cara celular donde incide aquella, buscando la máxima absorción de luz. En cambio, con luz intensa, cambian su posición y se disponen perpendicularmente. Ver Figura 3.36.

En general, en las células vegetales superiores los cloroplastos tienen forma ovoide, con unos ejes que miden entre 4 y 6  $\mu\text{m}$ . Con el microscopio óptico aparecen como vesículas de un verde intenso (Cooper, 2011).

Los cloroplastos son organelos semiautónomos, capaces de auto duplicarse, y se piensa que evolucionaron a partir de un procarionta fotosintético capaz de producir oxígeno (al parecer una cianobacteria) que adoptó una existencia simbiótica dentro de una célula huésped primitiva no fotosintética. Como resultado, los cloroplastos y las bacterias fotosintéticas comparten muchas propiedades,



**Figura 3.36.** Localización de los cloroplastos en la hoja y estructura interna del cloroplasto.



incluyendo la presencia de porinas en las membranas externas, el tipo de ADN y de ribosomas en el estroma, y la naturaleza de su mecanismo fotosintético.

Los cloroplastos, los organelos responsables de la fotosíntesis, son similares a las mitocondrias en muchos aspectos. Tanto los cloroplastos como las mitocondrias tienen como función generar energía metabólica, evolucionaron mediante endosimbiosis, contienen su propio sistema genético y se replican por fisión. Sin embargo, los cloroplastos son más grandes y más complejos que las mitocondrias, y desempeñan varias funciones críticas además de generar ATP.

Los cloroplastos son responsables de la conversión fotosintética de CO<sub>2</sub> en carbohidratos. Además, los cloroplastos sintetizan aminoácidos, ácidos grasos y los componentes lípidicos de sus propias membranas. En los cloroplastos también tiene lugar la reducción de nitrito (NO<sub>2</sub>) a amoníaco (NH<sub>3</sub>), una etapa esencial en la incorporación de nitrógeno a los compuestos orgánicos.

Los cloroplastos de las plantas son organelos grandes 5 a 10  $\mu\text{m}$  de longitud que, como las mitocondrias, están delimitados por una doble membrana denominada la envoltura del cloroplasto, la cual está compuesta de dos membranas separadas por un espacio estrecho. Igual que la membrana externa de las mitocondrias, la membrana externa del cloroplasto contiene porinas que hacen a esta membrana permeable a solutos de peso molecular tan alto como 10000 daltons. En contraste, la membrana interna de dicha envoltura es relativamente impermeable; las sustancias que se mueven a través de dicha membrana interna lo hacen con ayuda de moléculas transportadoras (Lindorf *et al*, 2006).

Además de las membranas interna y externa de la envoltura, los cloroplastos tienen un tercer sistema de membranas interno que forma una red de discos aplanados denominados **tilacoides**, que suelen estar organizados en apilamientos denominados *grana*. Debido a esta estructura de membrana triple, la organización interna de cloroplastos es más compleja que las de las mitocondrias. Concretamente, sus tres membranas dividen a los cloroplastos en tres compartimientos internos diferentes: 1) el espacio intermembrana entre las dos membranas de la envoltura del cloroplasto; 2) el estroma, el espacio que se dispone dentro de la envoltura pero por fuera de la membrana del tilacoide, y 3) el espacio dentro de un tilacoide es la **luz**. (Bogorad, 1981). Ver Figura 3.36.

**Genoma del cloroplasto.** Al igual que las mitocondrias, los cloroplastos contienen su propio sistema genético, lo que refleja su origen evolutivo a partir de bacterias fotosintéticas. Al igual que las mitocondrias, los genomas de los cloroplastos consisten en moléculas de ADN circular presentes en múltiples copias en cada organelo. Sin embargo, el genoma de los cloroplastos es más grande y más complejo que el de las mitocondrias, oscilando entre 120 y 160 kb y con un contenido aproximado de 150 genes.

En las dos terceras partes de las plantas superiores, los cloroplastos del grano de polen no entran en el cigoto, de modo que, como ocurre con las mitocondrias, el genoma de los cloroplastos es heredado exclusivamente del gametofito femenino.

### **3.8.6. CITOESQUELETO.**

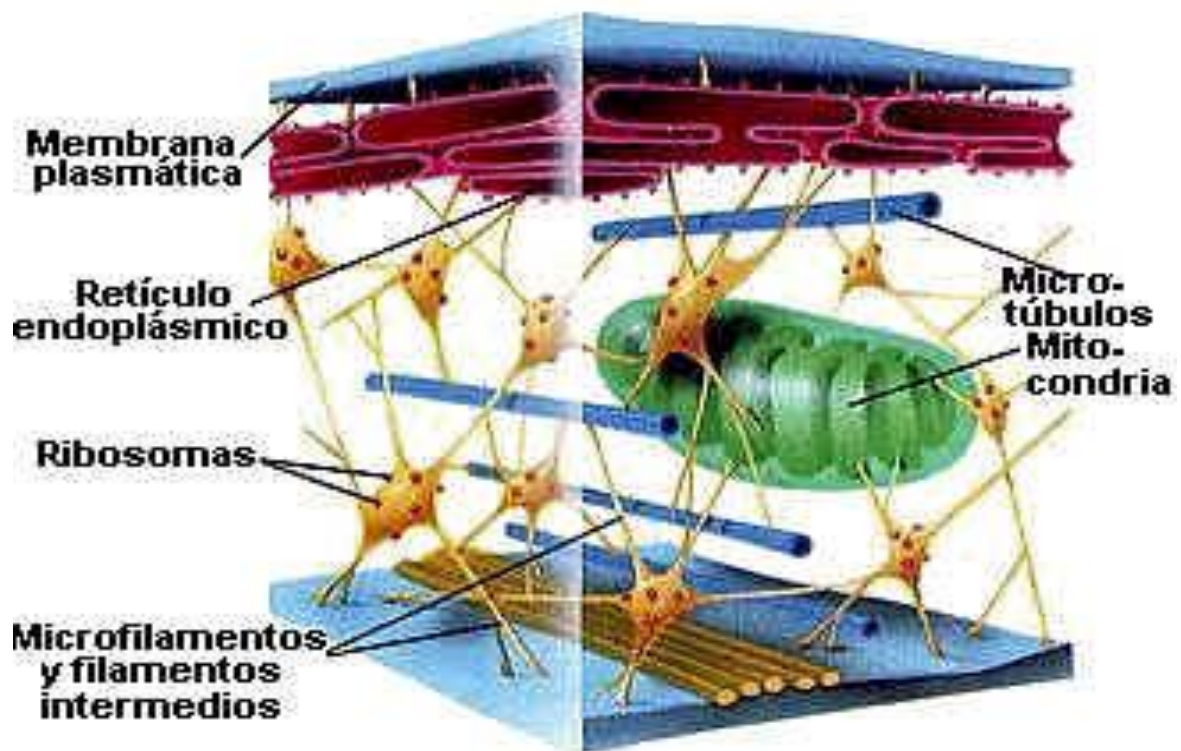
Un nivel de organización más avanzado de la estructura celular lo proporciona el citoesqueleto, que consiste en una red de filamentos de proteína que se extienden por el citoplasma de todas las células eucariotas. El citoesqueleto proporciona un armazón estructural para la célula, actuando como un andamio que determina la forma celular y la organización general del citoplasma. Además de desempeñar este papel estructural, el citoesqueleto es el responsable de los movimientos de la célula. Estos no solamente incluyen los movimientos de la célula en conjunto, sino también el transporte interno de los organelos y de otras estructuras (tales como los cromosomas mitóticos) a través del citoplasma. Se hace énfasis en que el citoesqueleto no es tan rígido y estable como su nombre lo indica; más bien es una estructura dinámica que se reorganiza continuamente según las células se mueven y cambian su forma, por ejemplo durante la división celular (Cambell y Hope, 2003).

El citoesqueleto está constituido por tres tipos principales de filamentos de proteína: filamentos de actina o microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos, que se mantienen juntos y unidos a los organelos intracelulares y a la membrana plasmática mediante varias proteínas accesorias. Ver Figura 3.37

Los elementos que constituyen el citoesqueleto funcionan en algunas actividades interrelacionadas.

- ❖ Como soporte, que suministra apoyo estructural que ayuda a mantener la forma de las células. Por ejemplo, los eritrocitos de mamífero mantienen su forma discoidal gracias al citoesqueleto de espectrina y actina situado sobre la superficie interna de la membrana plasmática de dichas células.
- ❖ Como armazón interna, encargada de mantener la posición de diferentes organelos en el interior de la célula. Esta función es particularmente evidente en células epiteliales polarizadas (Amos y Amos, 1991).
- ❖ Como parte de un mecanismo necesario para el movimiento de materiales y organelos dentro de las células. Ejemplos de esta función incluyen el movimiento de las vesículas de transporte del retículo endoplásmico al complejo de Golgi; la invaginación de la membrana plasmática durante la formación de vesículas fagocitarias; la separación de los cromosomas duplicados durante la mitosis, y el movimiento de vesículas que contienen neurotransmisores a lo largo de células nerviosas desde el sitio donde se sintetizan en el cuerpo celular hasta el sitio donde se utilizan en el extremo terminal de la célula (Shibaoka y Nagai, 1999).

- ❖ Como elementos generadores de fuerza encargados del movimiento de células de un sitio a otro. Los organismos unicelulares de ordinario ejecutan locomoción celular “arrastrándose” sobre la superficie de un sustrato sólido o impulsándose por sí mismos a través de su ambiente acuoso con ayuda de organelos locomotores especializados (cilios y flagelos) que sobresalen de la superficie celular. Los animales multicelulares contienen células capaces de amplios desplazamientos. Estos diferentes tipos de motilidad celular dependen de los elementos citoesqueléticos (Smith y Oppenheimer, 2005).



**Figura 3.37.** Esquema general del citoesqueleto con sus filamentos constitutivos.

- ❖ Como sitios para fijar ARN mensajeros y facilitar su traducción a polipéptidos.
- ❖ Como transductor de señales del ambiente extracelular al interior de la célula.

Aunque los componentes del citoesqueleto en las micrografías parecen estructuras estáticas e inmutables, en realidad son muy dinámicas capaces de reorganizarse con rapidez espectacular. Además, gran parte de las funciones del citoesqueleto requieren muchas proteínas accesorias que no forman parte de los propios filamentos. (Cooper y Mitchison, 1995).

**Microtúbulos. Estructura y función.** Los microtúbulos son estructuras cilíndricas huecas presentes en casi toda célula eucariota observada con el microscopio electrónico. Entre los microtúbulos, además del citoesqueleto, se incluyen el huso mitótico de las células en división y el núcleo central de cilios y flagelos. Los microtúbulos tienen diámetro externo de 24 nm, una pared cuyo espesor es de unos 5 nm y longitud que puede extenderse a todo lo largo o ancho de una célula. La pared del microtúbulo es un polímero compuesto de subunidades globulares. Cada subunidad globular consta de una sola molécula de la proteína tubulina. La tubulina es un dímero constituido por dos polipéptidos de 55 KDa estrechamente relacionados:  $\alpha$ -tubulina y  $\beta$ -tubulina. (Tucker, 1992).

En las células animales, los microtúbulos por lo general crecen en todas las direcciones a partir del centrosoma, un tipo de centro organizador de microtúbulos. Éstos se forman en el centrosoma a partir de material denso y sus extremos menos (-) (de crecimiento lento) permanecen anclados allí, mientras los microtúbulos con extremos más (+) de crecimiento rápido, crecen libremente a través del citoplasma. Sin embargo, los microtúbulos son inestables y pueden desintegrarse de forma abrupta. Ver Figura 3.38

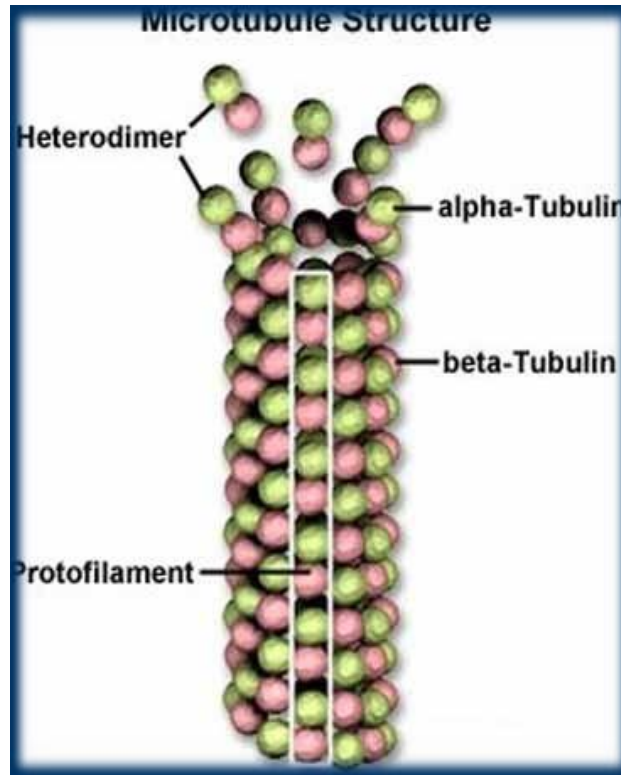
Esta inestabilidad innata de los microtúbulos permite una renovación continua y rápida de la mayor parte de ellos, que presentan una vida media en la célula de sólo varios minutos. Esta rápida renovación de los microtúbulos es especialmente importante para el remodelado del citoesqueleto que tiene lugar durante la mitosis. Debido al papel central de los microtúbulos en la mitosis, los fármacos que afectan al ensamblaje de los microtúbulos no sólo son útiles como herramientas experimentales en biología celular sino también en el tratamiento del cáncer.

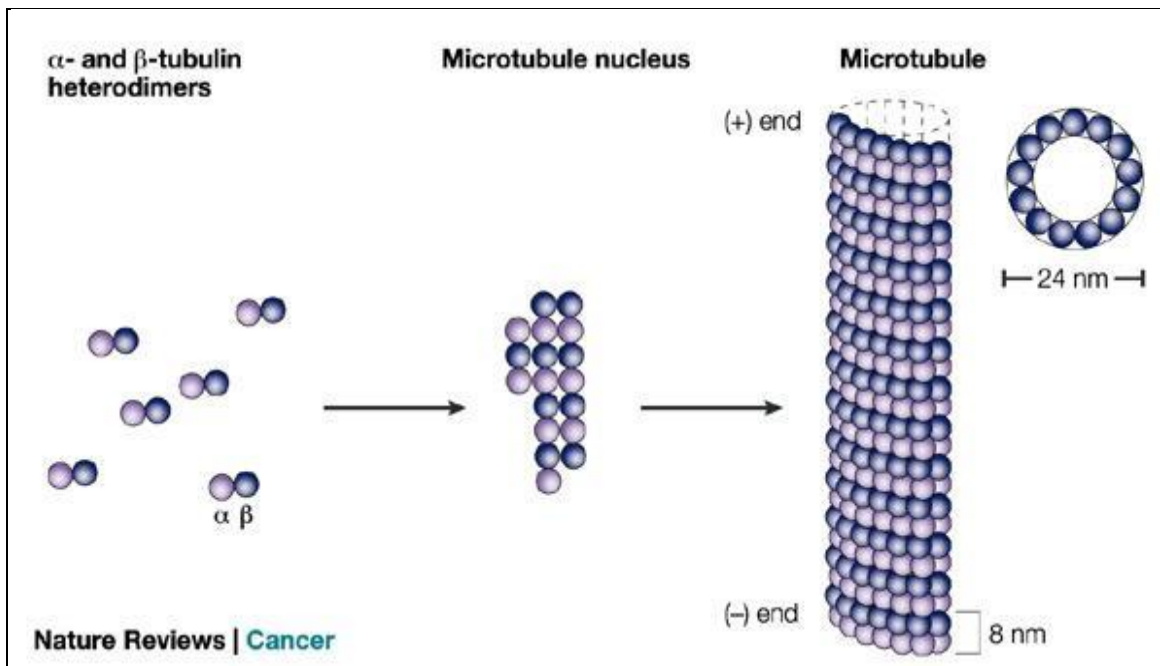
En las células animales, la mayoría de los microtúbulos se extienden hacia fuera desde el **centrosoma** (descrito por primera vez por Theodor Boveri en 1888), que se localiza junto al núcleo cerca del centro de las células interfásicas (no están en división).

Durante la mitosis, de forma similar, los microtúbulos se extienden a partir de centrosomas duplicados para formar el huso mitótico, que es responsable de la segregación y distribución de los cromosomas a las células hijas. De esta manera, el centrosoma desempeña un papel clave en la organización intracelular de los microtúbulos. Las células vegetales no poseen un centrosoma organizado; en su lugar, los microtúbulos en la mayoría de las plantas se extienden hacia afuera desde el núcleo (Walter y Sheetz, 1993)

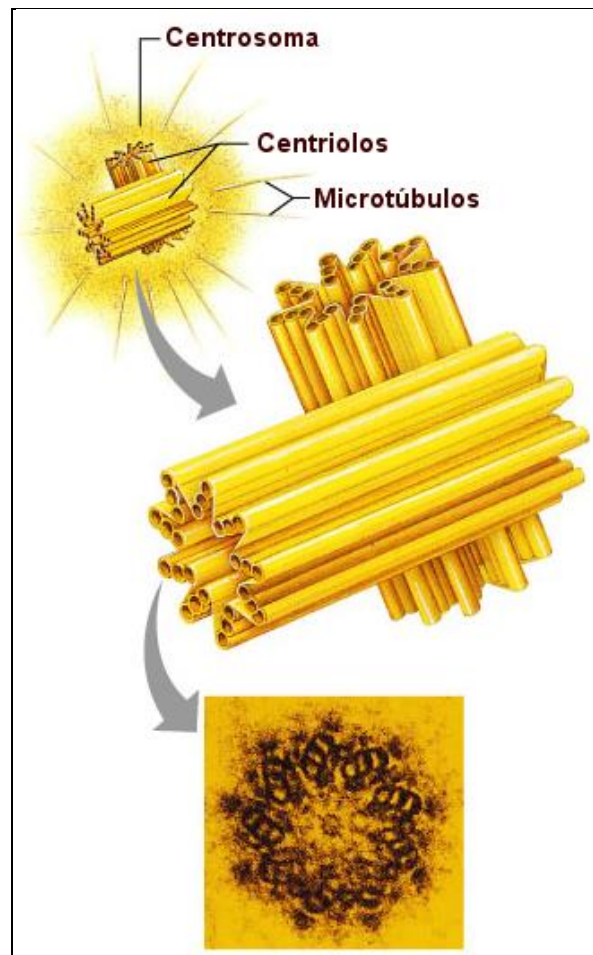
El centrosoma se conoce ahora como un centro organizador de microtúbulos en el que se unen los extremos <<menos>> de éstos. Sirve como lugar de inicio del ensamblaje de los microtúbulos, que crecerán a partir del centrosoma hacia la periferia de la célula. Esto se puede observar claramente en células que hayan sido tratadas con colcemida para descomponer sus microtúbulos. Cuando el

fármaco se retira, las células se recuperan y pueden verse nuevos microtúbulos que crecen desde el centrosoma. Es importante señalar que el inicio del crecimiento de los microtúbulos en el centrosoma establece la polaridad de los microtúbulos en la célula. Concretamente, los microtúbulos crecen por la adición de tubulina a sus extremos <<más>>, que se extienden desde el centrosoma hacia la periferia celular, de modo que el papel del centrosoma es *iniciar* el crecimiento de los microtúbulos.





**Figura 3.38.** Estructura de los microtúbulos del citoesqueleto. Cada microtúbulo posee dos extremos diferenciados: un extremo “más” (+) que contiene moléculas de  $\beta$ -tubulina y un extremo “menos” (-) con moléculas de  $\alpha$ -tubulina.



**Figura 3.39.** Estructura del centrosoma y de los centriolos en la célula.

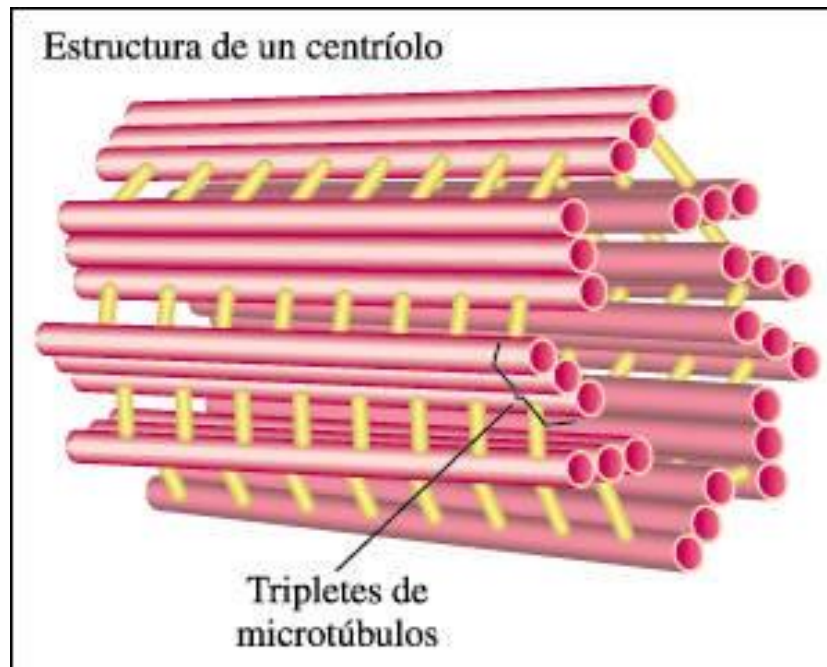
**Funciones de los microtúbulos.** Los microtúbulos desempeñan diferentes tareas:

- ❖ Sirven como esqueleto interno o armazón que proporciona apoyo estructural y ayuda a mantener la posición de los organelos citoplásmicos.
- ❖ Forman parte del mecanismo que desplaza materiales y organelos de una parte a otra de la célula.
- ❖ Son elementos móviles de cilios y flagelos.
- ❖ Son componentes primarios del mecanismo encargado de la mitosis y la meiosis. (Hyams y Lloyd, 1994).

**Centriolos, cilios y flagelos.** En células animales, los microtúbulos del citoesqueleto de ordinario se forman junto con el **centrosoma**, estructura compleja



que contiene dos **centríolos** en forma de barril rodeados por un **material pericentriolar** denso y amorfo. Los centríolos son estructuras cilíndricas de casi  $0.2\ \mu\text{m}$  de diámetro y generalmente casi el doble de largo. Con muy pocas excepciones, los centríolos contienen nueve fibrillas regularmente espaciadas, que en sección transversal cada una aparece como una banda de tres microtúbulos designados túbulo A, B y C, conectados al centro del organelo mediante un rayo radial. Sólo el túbulo A está completo. Los centríolos casi siempre se encuentran en pares, con los miembros de la pareja situados en ángulo recto entre sí. Típicamente, el centrosoma se sitúa cerca del centro de la célula, justo por fuera del núcleo. (Kellog et al, 1994). Ver Figura 3.40.



**Figura 3.40.** Representación gráfica de la estructura interna de un centríolo.

**Cilios y flagelos.** Cilios y flagelos son organelos movibles en forma de pelos proyectados desde la superficie de gran variedad de células eucariotas. También las bacterias poseen estructuras conocidas como *flagelos*, pero los flagelos de los procariontes son simples filamentos sin relación evolutiva con su contraparte de las eucariotas. Cilios y flagelos son dos versiones de la misma estructura que pueden distinguirse mejor por su patrón de movimiento (Cleveland y Moosker, 1994).

Un cilio por lo general puede compararse con un remo cuando la célula se mueve en dirección perpendicular al propio cilio. Durante su golpe de potencia, el cilio se mantiene en estado rígido conforme empuja contra el medio que lo rodea. En su golpe de recuperación, el cilio se torna flexible y ofrece poca resistencia al medio. Los cilios tienden a presentarse en gran número sobre la superficie de una célula y de ordinario su actividad es coordinada. En organismos multicelulares, los cilios se



utilizan para desplazar líquido y partículas materiales a través de diferentes conductos. Por ejemplo, en el hombre, el epitelio ciliado que reviste el conducto respiratorio impulsa hacia afuera de los pulmones el moco y los desperdicios atrapados.

En condiciones típicas, los flagelos son más largos que los cilios y se presentan en menor número sobre la superficie de la célula. A diferencia de los cilios, el latido de un flagelo es ondulatorio, con varias ondas presentes en cada momento a lo largo del flagelo. El latido de un flagelo genera una fuerza que impulsa hacia adelante o arrastra una célula en dirección paralela al eje longitudinal del flagelo. En organismos multicelulares, los flagelos se presentan principalmente en la cola del espermatozoide, donde su movimiento impulsa a la célula reproductiva hacia la superficie del óvulo (Gibbons, 1981).

**Microfilamentos.** Otro grupo importante de filamentos que conforman el citoesqueleto son los microfilamentos, fibras delgadas y flexibles de aproximadamente 7 nm de diámetro y hasta varios micrómetros de longitud. Su principal componente es la proteína actina con diversas proteínas asociadas a ella. También se conocen como filamentos de actina. Los microfilamentos participan directamente en los movimientos celulares y se encuentran en la mayoría de las células (Pollard y Goldman, 1993).

Para que los microfilamentos desarrollen actividad contráctil se requiere otra proteína filamentosa llamada *miosina*. Ambas proteínas predominan en las células musculares, donde forman miofilamentos de dos tipos: miofilamentos delgados de actina y miofilamentos gruesos de miosina (de 14 nm o mayores según el tipo de músculos), constituidos por agrupaciones de moléculas miosina. Por consiguiente, la diferencia entre los filamentos de las células musculares y los de las células no musculares reside en que, en las primeras, la miosina forma filamentos gruesos.

Los microfilamentos pueden adoptar dos formas: redes y haces. A su vez, los haces de filamentos pueden ser de dos tipos: contráctiles y no contráctiles.

Cada microfilamento está formado de dos cadenas polipeptídicas con enrollamiento helicoidal. Estas cadenas se ensamblan a partir de monómeros de actina (Gracy, 1994).

Igual que los microtúbulos, los microfilamentos pueden ensamblarse y desensamblarse de manera controlada, y con frecuencia se encuentran ordenados formando paquetes o redes. Por ejemplo, la **corteza celular** es una malla de elementos del citoesqueleto que se encuentran por debajo de la membrana plasmática. Presenta paquetes, arreglos entrecruzados y arreglos similares a un gel de microfilamentos. Algunos refuerzan las formas de la célula y otros reconfiguran su superficie: por ejemplo, cuando el paquete en torno a la sección media de una célula animal se contrae para dividirla en dos. Algunos anclan proteínas de membrana y otros sirven para la contracción muscular. Cuando se entrecruzan se aflojan en algunas células de gran tamaño, y producen *corrientes*

*citoplásmicas*. Las regiones locales similares a un gel se hacen más fluidas y corren vigorosamente. Este flujo redistribuye las sustancias y componentes celulares en el interior de la célula.

**Pseudópodos.** Los microfilamentos también intervienen en la formación de pseudópodos en amebas, macrófagos y otras células de vida libre.

Los pseudópodos son lóbulos irregulares y temporales del cuerpo celular y se emplean para la locomoción y la captura de presas. Los microfilamentos se alargan con rapidez dentro del lóbulo y lo empujan hacia adelante. Las proteínas motoras pueden viajar con lentitud a lo largo de estas vías y llevan consigo la membrana plasmática (Machesky y Schliwa, 2000). Ver Figura 3.41.



**Figura 3.41.** Los pseudópodos son prolongaciones del cuerpo celular que se utilizan para la locomoción y la captura de presas.

**Filamentos intermedios.** Los filamentos intermedios de entre 8 nm y 11 nm, que es intermedio entre los diámetros de los otros dos elementos principales del citoesqueleto, los filamentos de actina (de unos 7 nm) y los microtúbulos (de unos 25 nm). A diferencia de los filamentos de actina y de los microtúbulos, los filamentos intermedios no están directamente implicados en los movimientos celulares. En lugar de ello, parecen desempeñar una función estructural al conferir resistencia mecánica a las células y los tejidos y crear un armazón en el que pueden tener lugar diversos procesos celulares (Albers y Fuchs, 1992).

Casi todos los tipos celulares nucleados de los vertebrados poseen alguno de estos tipos de filamentos intermedios. Sin embargo, parece que las células del embrión temprano de los mamíferos carecen de ellos. En un mismo tipo celular pueden coexistir varios tipos; así, la vimentina puede presentarse tanto con la desmina como con la queratina. Además, durante su desarrollo, algunas células pueden cambiar el tipo de filamento intermedio expresado; por ejemplo, algunas

células sustituyen la queratina por la vimentina. Los filamentos intermedios están ausentes en vegetales y protistas. Se discute si están ausentes en los invertebrados y, aunque se han descrito en algunas especies, posiblemente difieren de los tipos mencionados en los vertebrados (Fuchs y Weber, 1994).

Sólo en algunas células animales hay filamentos intermedios presentes en el citoplasma y como presentan cuando mucho uno o dos tipos de filamentos de este tipo, los investigadores los emplean para identificar el tipo de célula. Estas tipificaciones constituyen una herramienta útil para diagnosticar el origen tisular de distintas formas de células cancerosas. Los filamentos intermedios también refuerzan la cubierta nuclear de todas las células eucariotas.

Los filamentos intermedios son muy resistentes a fuerzas de tracción (ténsiles). La capa externa de la piel está formada por residuos de células epidérmicas muertas y consta casi por completo de una redcilla densa de filamentos intermedios que contienen queratina. Estos filamentos intermedios confieren a la piel su resistencia al aire, agua, bacterias y la mayor parte de las sustancias químicas (Mitchison, 1995).

### 3.8.7. UNIONES CELULARES Y COMUNICACIÓN

La integridad estructural y funcional de los tejidos y órganos animales depende de la organización de sus células. Esta organización está mediada por regiones especializadas de la membrana plasmática llamadas **uniones celulares**. Las células vegetales también están conectadas mediante uniones llamadas plasmodesmos. Hay tres categorías funcionales de unión entre células animales:

1. **Desmosomas** (*zonulae adherens*), cuyo propósito principal es mantener juntas las células;
2. **Uniones estrechas** (*zonulae occludens*), que no sólo mantienen juntas a las células sino que también sellan el espacio entre ellas de modo que no puedan pasar moléculas;
3. **Uniones en hendidura**, que forman canales de comunicación entre células permitiendo el paso de moléculas pequeñas o iones (Bennet *et al*, 1991).

Todos estos tipos de unión se hallan en el epitelio intestinal.

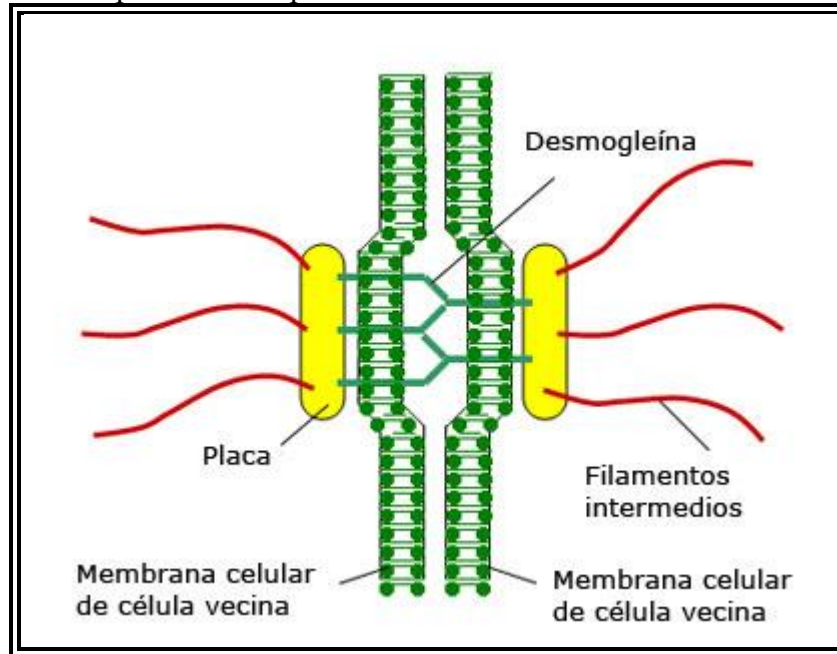
**Desmosomas.** Este tipo de unión tiene como propósito fundamental mantener juntas a las células. Los desmosomas se presentan en tres formas estructurales diferentes:

- desmosomas en mancha,
- hemidesmosomas y
- desmosomas en banda. Ver Figura 3.42.

**Desmosomas en mancha.** Cada **desmosoma en mancha** (o *maculae adherens*) tiene la forma de una placa redondeada y está formado por las membranas plasmáticas de dos

células vecinas.

Los desmosomas en mancha actúan como **remaches**, manteniendo juntas a las células. En la cara citoplásmica de cada membrana plasmática en la región en donde se presentan los desmosomas en mancha se observa una capa densa, denominada placa de desmosoma. Estas placas sirven para unir a las células



**Figura 3.42.** Esquema de la estructura de los desmosomas en manchas. (o maculae adherens).

mecánicamente a través de filamentos proteínicos de la clase de las cadherinas. De esta forma las membranas plasmáticas de dos células se mantienen paralelas una a la otra a una distancia de aproximadamente 15 a 30 nm.

En el lado citoplásmico de la membrana, las placas del desmosoma están conectadas a filamentos intermedios (tonofilamentos) de queratina que se proyectan hacia el interior de la célula. Por consiguiente, los desmosomas en mancha configuran sitios donde el citoesqueleto se une a la membrana celular constituyendo un lazo de unión entre los citoesqueletos de células vecinas.

Los filamentos intermedios pueden estar formados por queratina en las células epiteliales o por vimentina en las células musculares del corazón. (Schneeberger y Linch, 1992).

La capacidad de los desmosomas en mancha para unir células vecinas depende de la presencia de cadherinas en esas membranas. Las cadherinas son un grupo de glucoproteínas encargadas de la adhesión entre células. El desmosoma en mancha solamente tiene capacidad de unir las células cuando la concentración de  $Ca^{++}$  en el espacio extracelular es normal. Bajas concentraciones de este ión causan la separación de las células. Los desmosomas en mancha son abundantes en las células sometidas a tensión, como las de la epidermis, el revestimiento de la lengua y el esófago y las células del

músculo cardíaco.

En la piel de los humanos se presentan anomalías en forma de ampollas denominadas genéricamente **pénfigo**. En algunos tipos de pénfigo se detectó que la sangre genera anticuerpos contra ciertas cadherinas de los desmosomas en



**Figura 3.43.** Pénfigo en el rostro de una persona. La lesión comienza usualmente en la cara como una pequeña mácula rojiza.

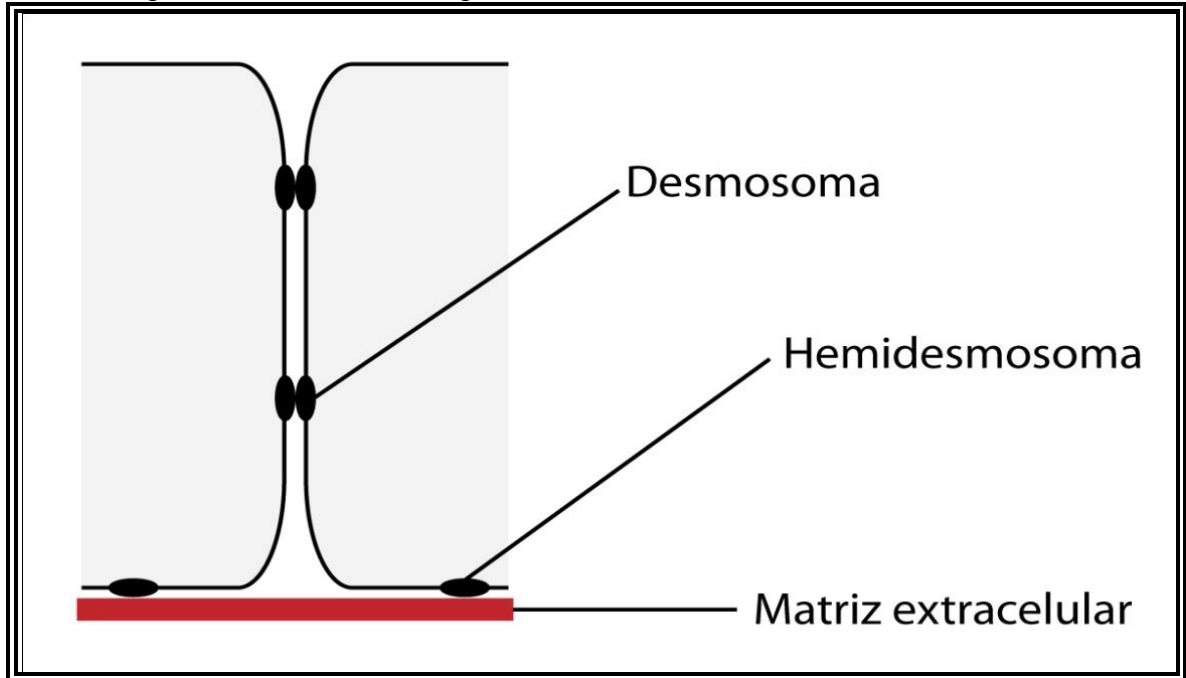
mancha. En estos casos, la desorganización de los desmosomas, por la modificación de sus proteínas, causa la separación de las células de la epidermis y la penetración de fluido proveniente del tejido conjuntivo subyacente. Ver figura 3.43.

Los desmosomas de otros tejidos diferentes de la epidermis no presentan alteraciones en estas personas, por lo cual se deduce que existen diferencias en las proteínas que constituyen los desmosomas en mancha. (Legan et al, 1992).

**Hemidesmosomas.** Las células de algunos epitelios se apoyan en una membrana no celular, denominada **lámina basal**, que separa el epitelio del tejido conjuntivo. La cara de las células epiteliales en contacto con la lámina basal presenta estructuras parecidas a los desmosomas, denominadas **hemidesmosomas** (medio desmosoma) por no poseer la

mitad correspondiente a la otra célula epitelial. Ver Figura 3.44.

Los hemidesmosomas consisten en una placa densa situada en la superficie interna de la membrana plasmática de la célula epitelial con filamentos intermedios



**Figura 3.44.** Ubicación de los desmosomas en las células epiteliales.

de queratina que se proyectan al interior del citoplasma. Los desmosomas se adhieren a las láminas basales a través de moléculas proteicas de la clase de las integrinas.

**Desmosomas en banda.** Los desmosomas en banda (zonulae adherens) se observan especialmente en el epitelio que reviste el intestino, donde adoptan la forma de un “cinturón” que rodea a cada célula cerca de su superficie apical, enlazándola a sus vecinas. Las membranas plasmáticas de un desmosoma en banda están separadas por un espacio de 20 a 35 nm, sitio donde se concentran moléculas de cadherina. Ver Figura 3.45

A la altura del desmosoma en banda se deposita un material amorfo en la superficie interna citoplásmica, formando una placa similar a la del desmosoma en mancha pero menos compacta. En la placa se insertan laxamente microfilamentos de actina (mediante proteínas del tipo cateninas) que forman parte del citoesqueleto y son contráctiles.

Al igual que los desmosomas en mancha, los desmosomas en banda son sensibles a la baja concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$ , lo que produce la separación de las células. (Scharz et al, 1993).



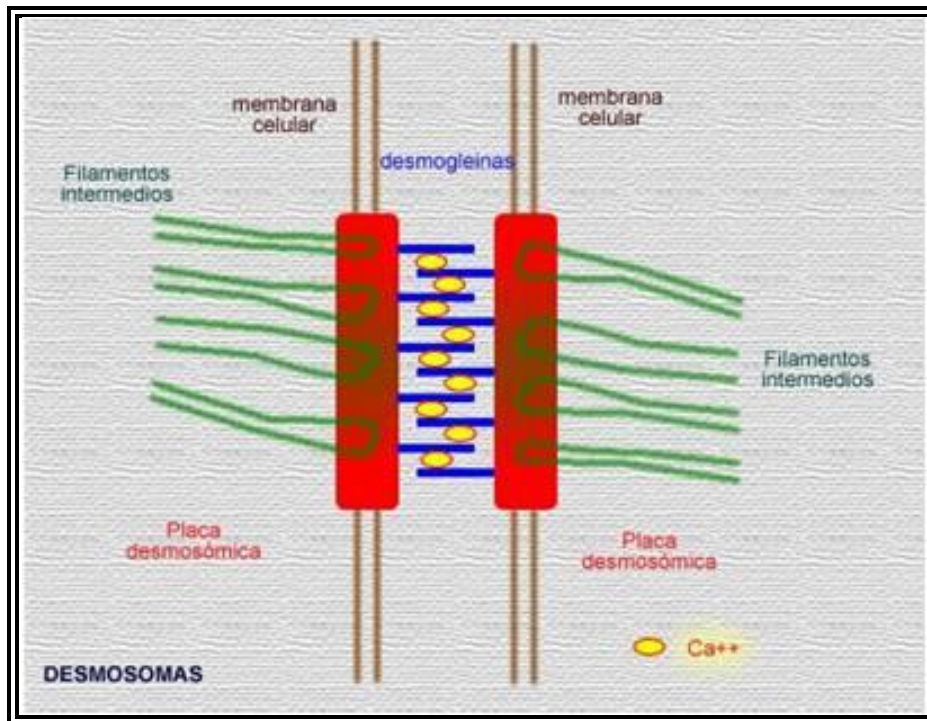


Figura 3.45. Esquema de los desmosomas en banda. (Zonulae adherens).

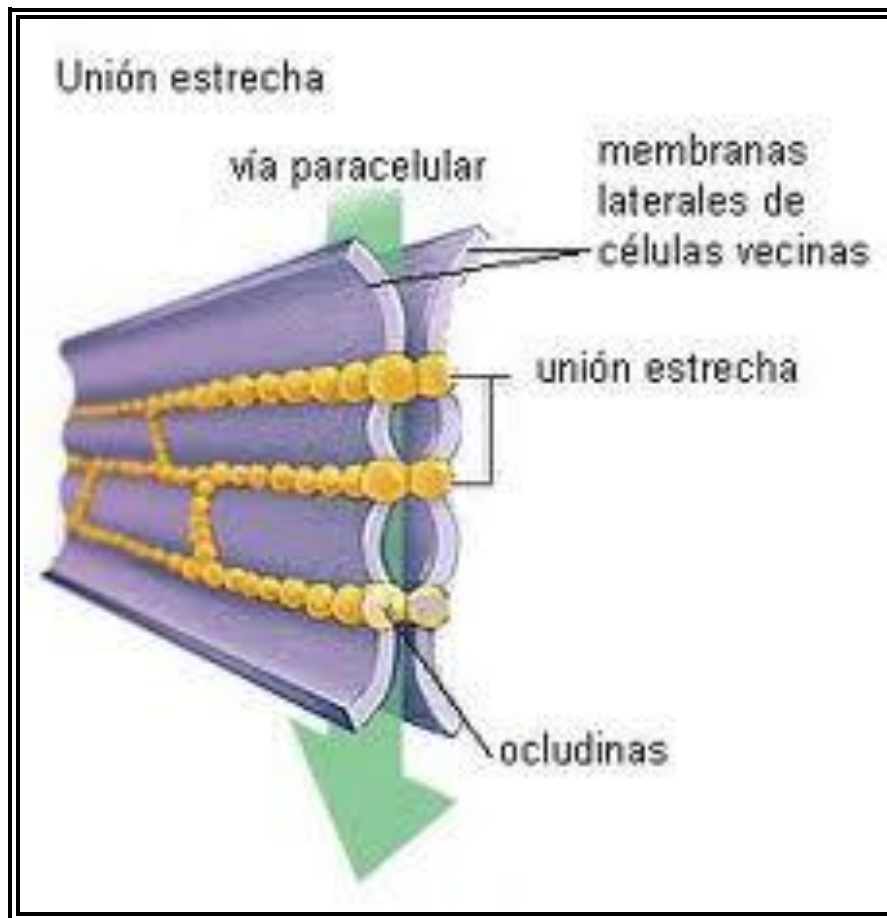
### Uniones estrechas. (zonula occludens) o uniones herméticas.

Las uniones estrechas o herméticas son numerosas entre las células epiteliales vecinas que recubren el intestino y la vejiga urinaria. Se observa que las membranas adyacentes hacen contacto en puntos discontinuos en vez de fusionarse en una superficie amplia. Se supone que los puntos de contacto celular representan sitios donde las proteínas integrales (occludinas) de dos membranas adyacentes se encuentran en el espacio extracelular. Cada uno de estos sitios de contacto se extiende en forma de banda o hilera continua de proteínas que rodea por completo la célula como un empaque, haciendo contacto por todos lados con las células vecinas y formando una barrera que bloquea la penetración de solutos en el espacio intercelular. Ver Figura 3.46.

En consecuencia, las uniones estrechas o herméticas forman una barrera continua de impermeabilidad que sella el espacio extracelular sobre uno de los lados del epitelio en relación con el otro lado, lo cual impide total o parcialmente el paso de iones y moléculas entre las células. En el intestino esto evita que los nutrientes que han sido transportados a la sangre por las células epiteliales se filtren de regreso al intestino. (Rubin, 1992).

De forma similar, las uniones estrechas también polarizan la función celular al impedir la difusión lateral de proteínas de membrana de un lado de la célula al

otro. En la capa epitelial del intestino esto asegura que los sistemas de transporte de membrana que se requieren para la absorción de nutrientes del intestino y los



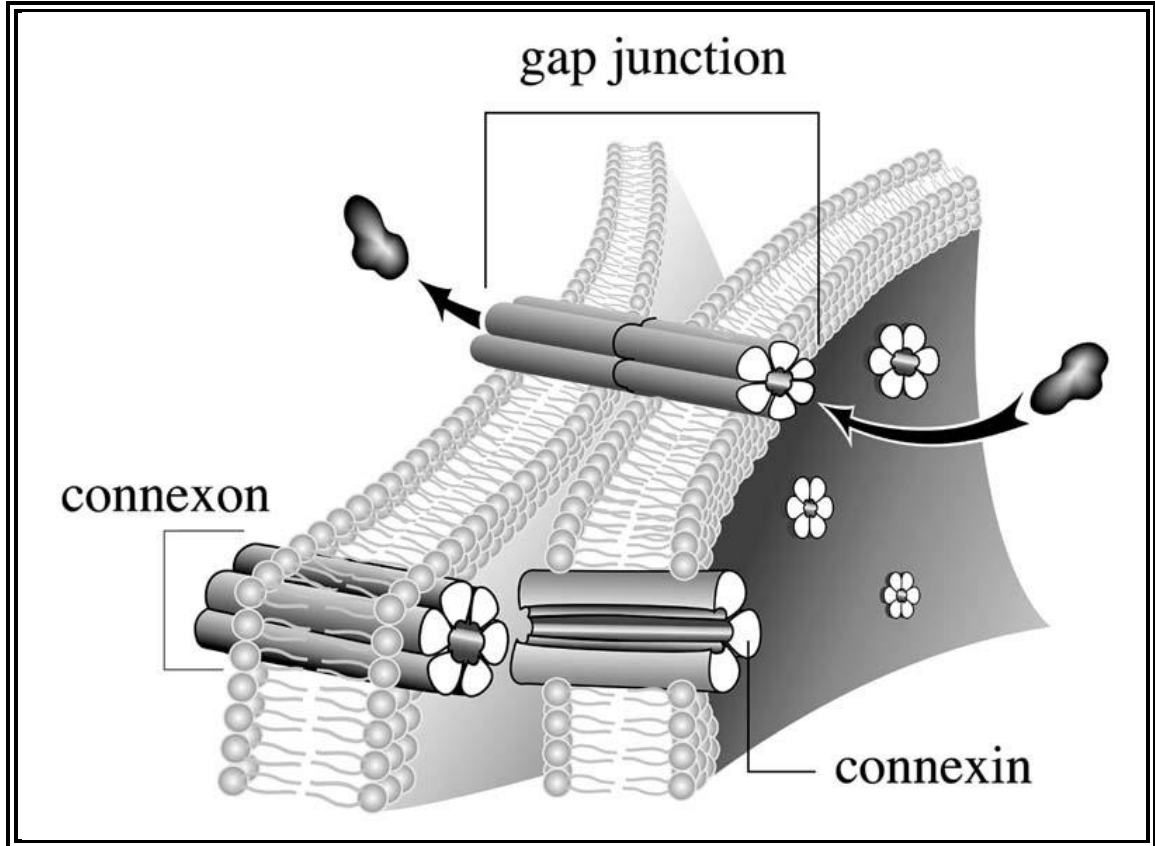
**Figura 3.46.** Esquema de una unión estrecha o hermética entre las células epiteliales.

que se requieren para la secreción de los nutrientes en la sangre se mantengan en caras separadas de la célula.

**Uniones de abertura o uniones en hendidura.** Son sitios entre células animales especializadas para la comunicación intercelular. También se les denomina **nexos, unión de hiato o gap junction**. Ver figura 3.47

Las micrografías electrónicas revelan que estas uniones de abertura son sitios donde las membranas plasmáticas de células adyacentes se ponen en estrecho contacto entre sí (a una distancia aproximada de 3 nm) pero no entran en contacto directo. En vez de ello, la abertura entre las células es atravesada por “fibras” sumamente finas que en realidad son “tubos” moleculares que pasan a través de membranas plasmáticas adyacentes y se abren en el citoplasma de células vecinas. Las uniones de abertura unen células de casi todos los tejidos de mamíferos. Las principales excepciones son las células del músculo esquelético y las células de la mayor parte del tejido nervioso. (Furini et al, 1993).



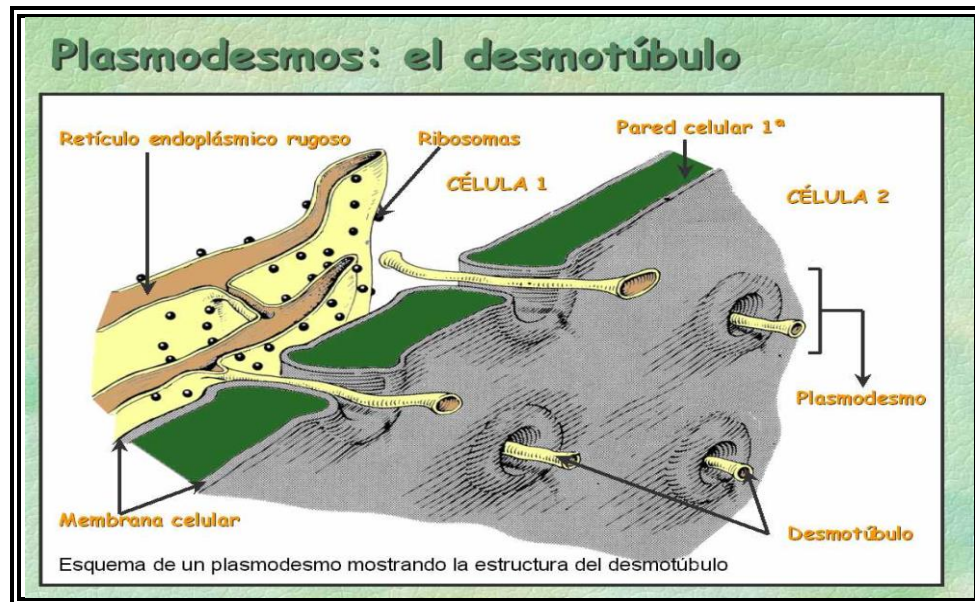


**Figura 3.47.** Esquema de la unión de hendidura (GAP JUNCTION).

Cada unión de abertura – por lo general de forma circular – está compuesta de una única proteína llamada **conexina** (Mr 25000). Las conexinas se agrupan dentro de la membrana plasmática para formar un complejo denominado **conexón**, compuesto por seis subunidades de conexina dispuestos alrededor de un agujero o anillo central de aproximadamente 1,5 nm de diámetro. El conexón de la membrana plasmática de una célula se acopla con el conexón de la célula vecina para formar el “tubo” de 7 nm de diámetro y su canal, hidrofílico, es del orden de 1,0 a 1,4 nm lo que permite el paso de moléculas de hasta 1200 daltons. (Beyer, 1993).

A través de las uniones de abertura pueden pasar de una célula a otras cantidades apreciables de monómeros naturales como nucleótidos, aminoácidos e iones. Sin embargo, los canales de las uniones de abertura no permiten el transporte de polímeros como proteínas y ácidos nucleicos. El  $\text{Ca}^{++}$  desempeña una función importante en el control de la permeabilidad de estas uniones de abertura. Cuando los niveles de  $\text{Ca}^{++}$  son anormalmente altos, las uniones de abertura se sellan como resultado de un cambio en las moléculas de conexina. Esto protege, o las células normales durante una agresión a los tejidos, aislándolas de células vecinas dañadas o moribundas. (Furini et al, 1993).

**Plasmodesmos.** Constituyen las principales uniones intercelulares en las plantas superiores. Permiten el transporte de materiales de bajo peso molecular (PM 800) entre células vecinas. Son similares a las uniones de hendidura de las células animales, pero con estructura diferente. Ver Figura 3.48.



**Figura 3.48.** Esquema de la estructura de los plasmodesmos.

Los plasmodesmos son finos filamentos de citoplasma, delimitados por membranas plasmáticas. Conectan una célula vegetal viva con las células adyacentes a través de perforaciones de 30 a 50 nm de diámetro que atraviesan las paredes celulares intermedias. Un desmotúbulo pasa a través del centro de cada plasmodesmo y es continuo con el retículo endoplasmático de las células conectadas. Los extremos de los plasmodesmos están comprimidos por prolongaciones de las paredes celulares adyacentes. (Starr y Taggart, 2004).

Los plasmodesmos aseguran que las plantas multicelulares no sean simples agregados de células separadas por paredes celulares, sino organismos en los que las actividades metabólicas de los diferentes órganos están regulados e integrados. Ver figura 3.48

### 3.9. ENTORNO EXTRACELULAR

Aunque los límites celulares están definidos por la membrana plasmática, numerosas células poseen un conjunto de materiales por fuera de dicha membrana que desempeñan un papel muy importante en la vida de la célula. En un animal o planta multicelulares, la mayor parte de las células se organizan en tejidos claramente definidos cuyas células componentes mantienen una relación

predecible entre sí y con los materiales extracelulares situados entre las células. Aun células sin relación fija dentro de un tejido sólido, como los leucocitos de la sangre que viajan por todo el cuerpo, deben interactuar de manera muy específica con otras células y los materiales extracelulares con los cuales se ponen en contacto.

Estas interacciones regulan actividades tan diversas como migración celular, crecimiento y diferenciación de la célula, y organización tridimensional de los tejidos y órganos que aparecen durante el desarrollo embrionario. Desplazándose hacia fuera de la membrana plasmática se pueden examinar los materiales extracelulares que rodean los diferentes tipos de células (Porter y Tucker, 1981).

Estos materiales se pueden agrupar en las siguientes categorías:

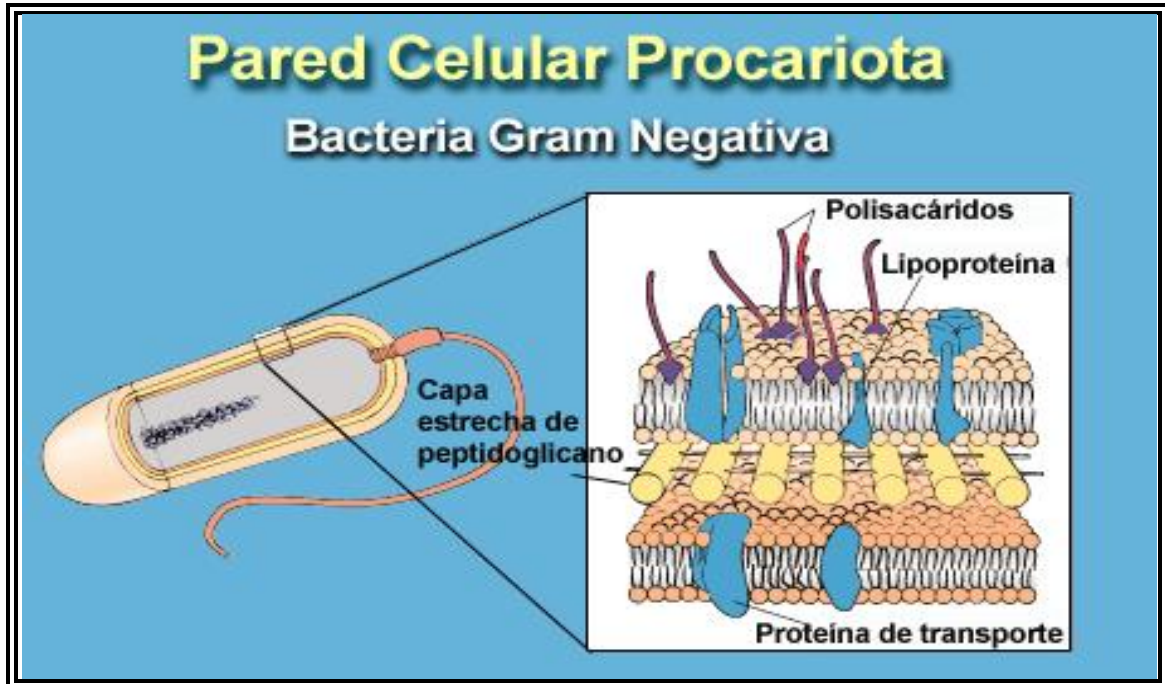
- ❖ Paredes celulares:
  - Bacterianas
  - Vegetales
- ❖ Matriz extracelular
- ❖ Glucocálix

**Paredes celulares:** Las rígidas paredes celulares que rodean a las bacterias y muchos tipos de células eucariotas (hongos, algas y plantas superiores) determinan la forma celular y proviene que las células se hinchen y estallen como resultado de la presión osmótica. A pesar de sus funciones comunes, las paredes celulares de las bacterias y eucariotas son estructuralmente muy diferentes. Las paredes celulares bacterianas consisten en polisacáridos unidos mediante enlaces cruzados con pequeños polipéptidos, que forman una **coraza** covalente en torno a la célula completa.

Por el contrario, las paredes celulares de los eucariotas están compuestas principalmente de polisacáridos incluidos en una matriz semejante a un gel. En lugar de ser estructuras fijas, las paredes celulares vegetales se modifican tanto durante el desarrollo de la planta como en respuesta a señales del ambiente, de modo que las paredes celulares de las plantas juegan papeles críticos en la determinación de la organización de sus tejidos y en la estructura de la planta completa. (Cooper y Hausman, 2011).

**4.5.2. Paredes celulares bacterianas.** Las rígidas paredes celulares bacterianas determinan las formas características de los diferentes tipos de células bacterianas. Por ejemplo, algunas bacterias (como *E. coli*) tiene forma de bacilo, mientras que otras son esféricas (por ejemplo, *Pneumococcus* y *Staphylococcus*) o con forma de espiral (por ejemplo, la espiroqueta *Treponema pallidum*, causante de la sífilis). Adicionalmente, la estructura de sus paredes celulares divide a las bacterias en dos amplios grupos que pueden distinguirse por un método de tinción conocida como la tinción Gram, desarrollada por Christian Gram en 1884. Las bacterias gramnegativas (como *E. coli*) poseen una doble membrana plasmática, una interna y otra externa, y entre ellas una delgada pared celular. Por el contrario,

las bacterias grampositivas (como el patógeno humano común *Staphylococcus aureus*) presentan solamente una única membrana plasmática, que está rodeada de una pared celular mucho más gruesa. Ver Figura 3.49.

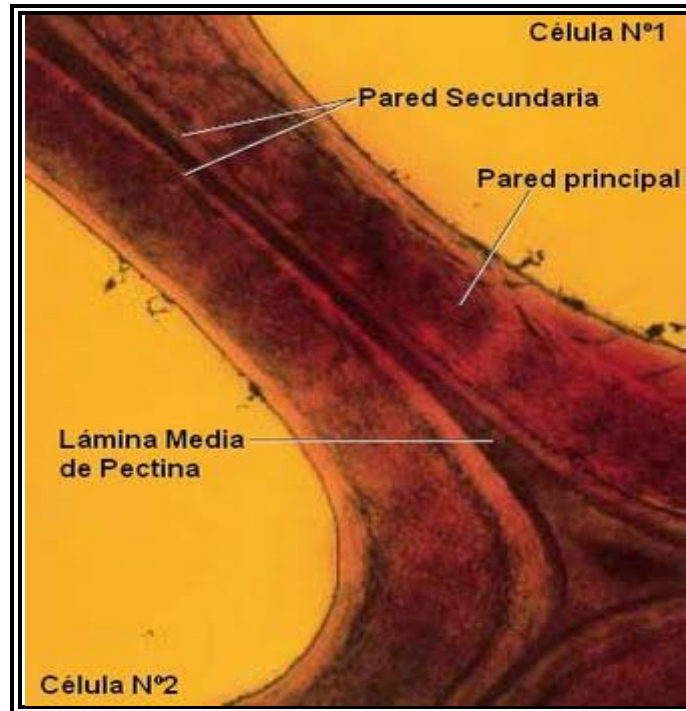


**Figura 3.49.** Diagrama esquemático de la pared celular de una bacteria Gram negativa

A pesar de estas diferencias estructurales, el principal componente de las paredes celulares tanto de las bacterias gramnegativas como grampositivas es el **peptidoglucano**, que está constituido por cadenas lineales de polisacáridos, entrelazados por péptidos cortos. Debido a su estructura entrelazada, el peptidoglucano forma una cubierta covalente fuerte alrededor de toda célula bacteriana. Es interesante destacar que lo que hace a las bacterias vulnerables frente a algunos antibióticos es la estructura característica de sus paredes celulares. La penicilina, por ejemplo, inhibe la enzima responsable de formar los puentes de unión cruzados entre las diferentes hebras de peptidoglucano, interfiriendo de esta manera en la síntesis de la pared celular y bloqueando el crecimiento bacteriano. (Brock y Madigan, 1993).

**Paredes de las células vegetales:** A diferencia de las de las bacterias, las paredes celulares de los eucariotas (incluyendo hongos, algas y plantas superiores) se componen principalmente de los polisacáridos. El polisacárido estructural fundamental de las paredes celulares de los hongos es la **quitina**, que también forman las conchas de los cangrejos y los exoesqueletos de los insectos y de otros artrópodos. La quitina es un polímero lineal de residuos de *N-acetilglucosamina*. Ver Figura 3.50.

Las paredes celulares de la mayoría de las algas y de las plantas superiores se componen principalmente de **celulosa**, que es el polímero más abundante de la tierra. La celulosa es un polímero lineal de restos de glucosa que suele estar constituidos por más de 10.000 monómeros de glucosa. Los restos de glucosa se unen por enlaces  $\beta(1 \rightarrow 4)$ , lo que permite al polisacárido formar largas



**Figura 3.50.** Estructura interna de la pared de la célula vegetal.

cadena rectas. Después de su transporte a través de la membrana plasmática al espacio extracelular, las 36 cadenas polisacáridas sencillas se asocian entre sí en paralelo para formar microfibrillas de 3 nm. Las microfibrillas de celulosa se pueden extender a lo largo de varios micrómetros (Lindorf *et al*, 2006).

En el interior de la pared celular, las microfibrillas están embebidas en una matriz compuesta por proteínas y otros dos tipos de polisacáridos: **hemicelulosas** y **pectinas**. Las hemicelulosas son polisacáridos altamente ramificados que están unidos a la superficie de las microfibrillas de celulosa por enlaces de hidrógeno. Esto estabiliza las microfibrillas de celulosa para formar una fibra fuerte, responsable de la fuerza mecánica de las paredes celulares vegetales. Las microfibrillas de celulosa forman enlaces cruzados con las pectinas, que son polisacáridos ramificados que contienen una gran cantidad de residuos de ácido galacturónico de carga negativa.

Debido a estas múltiples cargas negativas, las pectinas se unen a iones cargados positivamente (como el  $\text{Ca}^{2+}$ ) y atrapan moléculas de agua para formar geles. Un ejemplo ilustrativo de sus propiedades gelificantes lo muestra el hecho de que las mermeladas y las gelatinas se producen añadiendo pectinas al zumo de frutas.

Una de las funciones críticas de las paredes celulares vegetales es impedir que la célula se hinche como resultado de la presión osmótica. A diferencia de las células animales, las células vegetales no mantienen un equilibrio osmótico entre su citosol y los fluidos extracelulares. Como consecuencia, la presión osmótica dirige continuamente el flujo de agua hacia el interior de la célula. Las células vegetales toleran este flujo de agua hacia el interior debido a que sus paredes celulares rígidas impiden que la célula se hinche y estalle. En su lugar, se genera una presión hidrostática interna (llamada **presión de turgencia**), que acaba por igualar a la presión osmótica e impide que el agua siga entrando. La presión de turgencia es la principal responsable de la rigidez de los tejidos vegetales, como resulta aparente tras la observación de una planta deshidratada y marchita.

**Matriz Extracelular:** Numerosas células en los tejidos de los organismos pluricelulares se encuentran embebidos en una **matriz extracelular (MEC)** una red organizada de materiales extracelulares que se halla más lejos de la vecindad inmediata de la membrana plasmática. A veces, la matriz extracelular consta de una mezcla amorfa mal definida de proteínas y polisacáridos, como se puede observar en el espacio extracelular del tejido conectivo laxo, o puede tomar la forma de una estructura distinta cuyo contorno puede observarse con el microscopio de luz. La MEC es algo más que un material pasivo protector inerte; puede desempeñar un papel clave en la morfología y actividades de la célula (Karp, 2011).

Una de las matrices extracelulares mejor definida es la **membrana basal** (o **lámina basal**), capa engrosada de unos 50 a 200 nm que rodea a las células musculares y adiposas y que cubre la superficie basal de tejidos epiteliales, como la piel, el revestimiento interno de los conductos digestivo y respiratorio, y de los vasos sanguíneos. Se piensa que la membrana basal puede participar en el mantenimiento de la polaridad de las células epiteliales; en definir la vía de migración celular; en esperar tejidos adyacentes ayudando así a compartimentalizar un órgano en desarrollo, y en actuar como barrera al paso de las macromoléculas.

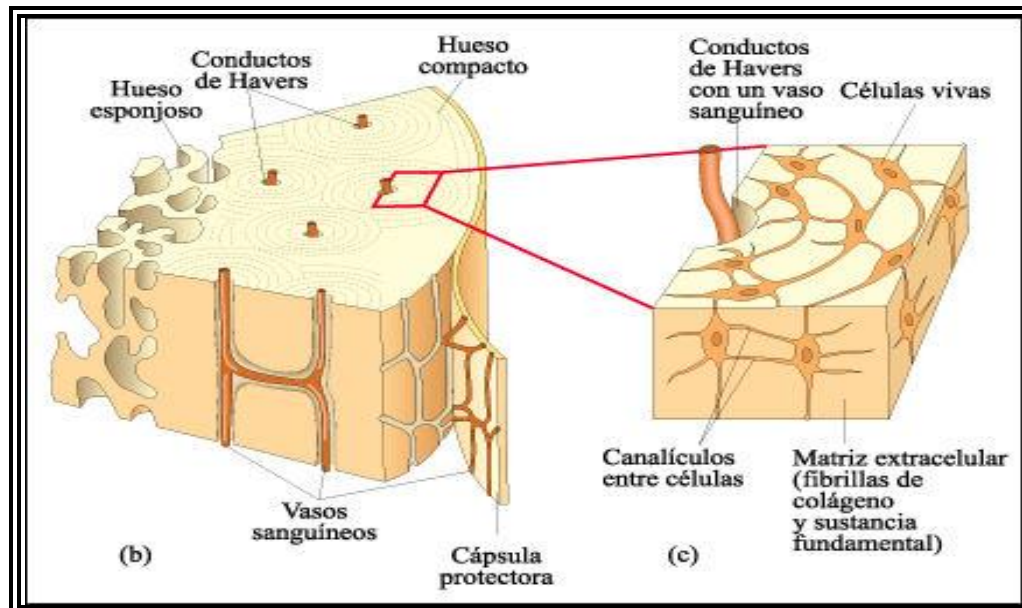
En esta última función, la membrana basal desempeña un papel importante al evitar que las proteínas salgan de la sangre cuando fluyen a través de los poros de las paredes capilares. Esto tiene particular importancia en el riñón, donde la sangre se filtra a través de la doble membrana basal que separa los capilares del glomérulo de las paredes del túbulo renal. En la diabetes prolongada, la insuficiencia renal puede producir engrosamiento anormal de la membrana basal que rodea al glomérulo. La membrana basal también sirve como barrera contra la invasión de tejidos por células cancerosas errantes.

**Tipos de matrices extracelulares.** Las matrices extracelulares más extensas se observan en tejidos conectivos como cartílago, huesos, tendones y el estroma de la córnea. En estos tejidos, las células que secretan la MEC sólo equivalen a una fracción del volumen tisular. La matriz extracelular, más bien que las propias células, es la que confiere a estos tejidos sus propiedades identificables: dureza



para la matriz ósea, resistencia y flexibilidad para la matriz del cartílago, resistencia a la tensión para la matriz del tendón y transparencia para la matriz del estroma corneal. Ver Figura 3.51.

Aunque la matriz extracelular puede adoptar diferentes formas en diversos tejidos y organismos, los materiales que constituyen la MEC pertenecen a un número relativamente pequeño de familias moleculares; cada una de las cuales puede



**Figura 3.51.** Localización de la matriz extracelular en los osteocitos.

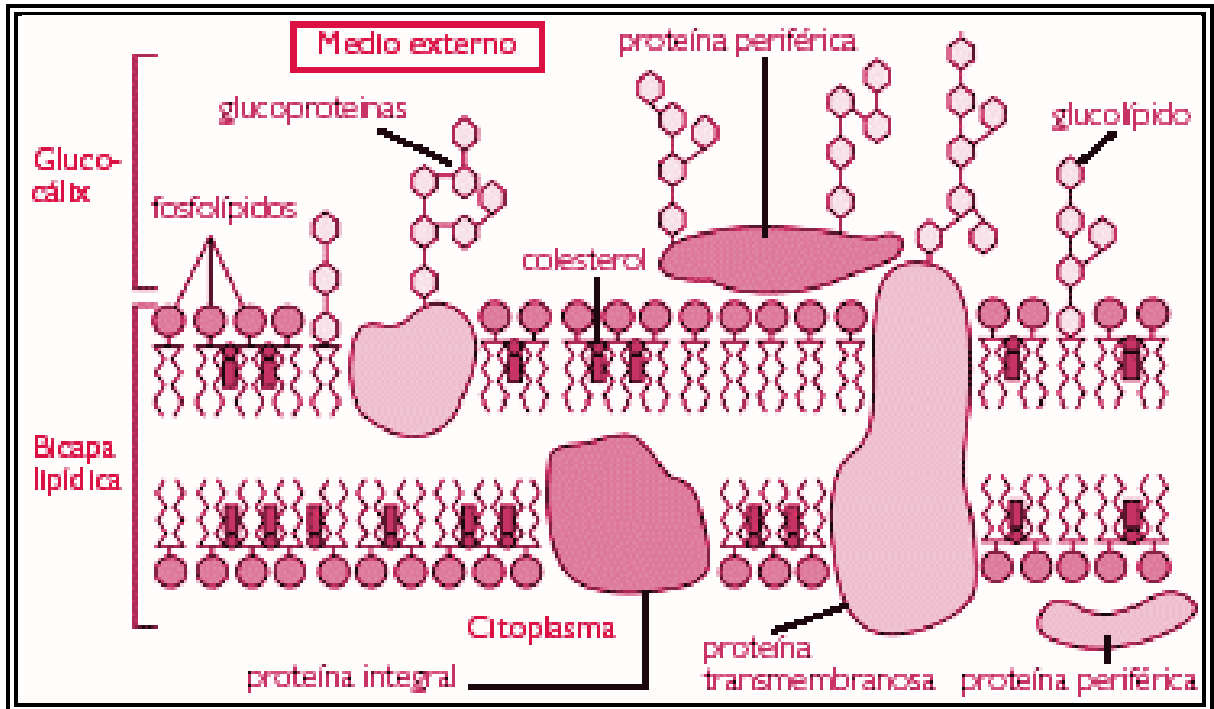
contener varias moléculas relacionadas. La matriz extracelular está compuesta por proteínas fibrosas, resistentes, embebidas en una sustancia fundamental gelatinosa y de naturaleza polisacárida. Además contiene proteínas de adhesión que unen los componentes de la matriz tanto entre sí como a las células adyacentes. (Solomon *et al*, 2011).

Las diferencias entre los distintos tipos de matriz extracelular se deben a variaciones cuantitativas en los tipos o cantidades de estos diferentes constituyentes y modificaciones en su organización. Por ejemplo, los tendones contienen una porción elevada de proteínas fibrosas, mientras que el cartílago contiene una alta concentración de polisacáridos que forman un gel firme, resistente a la compresión. En el hueso, la matriz extracelular está endurecida por el depósito de cristales de fosfato cálcico.

**Glucocáliz.** En diferentes tipos de células animales, las proteínas integrales y los lípidos de la membrana plasmática poseen cadenas cortas de carbohidratos que forman una envoltura o capa íntimamente aplicada sobre la superficie exterior de la membrana plasmática denominada **glucocáliz** (o cubierta celular). Además de los carbohidratos de la membrana, el glucocáliz por lo general contiene otros materiales extracelulares secretados por la célula hacia el espacio externo, donde

permanecen íntimamente relacionados con la superficie celular. (Karp, 2011).

El grado de desarrollo del glucocálix es muy variable. En la mayoría de las células el glucocálix forma una capa muy tenue, difícilmente apreciable con el microscopio electrónico, pero en algunas células epiteliales está muy desarrollado, como el del epitelio intestinal de los mamíferos. Estas células poseen numerosas prolongaciones citoplásmicas hacia la luz, denominadas *microvellosidades*, que forman un entramado tridimensional denominado glucocálix antenular. Ver Figura 3.52.



**Figura 3.52.** Localización del glucocálix en la célula animal.

**Funciones.** Aunque las células animales poseen glucocálix, éste no es visible en todas ellas ni responde a las mismas necesidades.

Las principales funciones reconocidas en el glucocálix son las siguientes:

- ❖ Es responsable de la carga negativa de la superficie celular, principalmente debida al ácido siálico, y de los cambios en la carga eléctrica del medio extracelular, actuando como una resina intercambiadora de iones.
- ❖ Reconocimiento y fijación de las partículas que incorpora la célula por endocitosis.
- ❖ Reconocimiento específico de células entre sí durante el desarrollo embrionario, permitiendo la agrupación de las células para generar los tejidos y órganos.



- ❖ Propiedades inmunológicas. Contiene muchos de los antígenos celulares que causan el rechazo de trasplantes e injertos. El glucocálix de los eritrocitos humanos determina si el grupo sanguíneo de una persona es A, B, AB u O. Los determinantes ABO son cadenas cortas ramificadas de oligosacáridos.
- ❖ Anclaje de enzimas. En el glucocálix de algunas células hay unidades globulares (5-6 nm de diámetro) que contienen enzimas, como leucoaminopeptidasas en los hepatocitos y maltasa en los enterocitos (células del epitelio intestinal).
- ❖ Receptores de patógenos. Los glucolípidos participan en ciertas enfermedades infecciosas, la toxina del cólera y el virus de la influenza penetran en su célula específica uniéndose primero a los gangliósidos de la superficie celular. Si los glucolípidos pueden funcionar como “compuertas” para la entrada de patógenos, tal vez tengan algún tipo de función receptora en las células normales (Nelson *et al*, 1998).

### 3.11 SISTEMAS DE TRANSPORTE CELULAR

Si el contenido de una célula está rodeado en toda su extensión por la membrana plasmática, toda comunicación entre la célula y el medio extracelular debe ser a través de esta estructura. Por consiguiente, la membrana plasmática tiene doble “función”. Por un lado, debe retener los materiales disueltos dentro de la célula, de modo que no salgan de la misma por simple escurrimiento hacia el medio; por otra parte, debe permitir el intercambio necesario de materiales hacia adentro y afuera de las células.

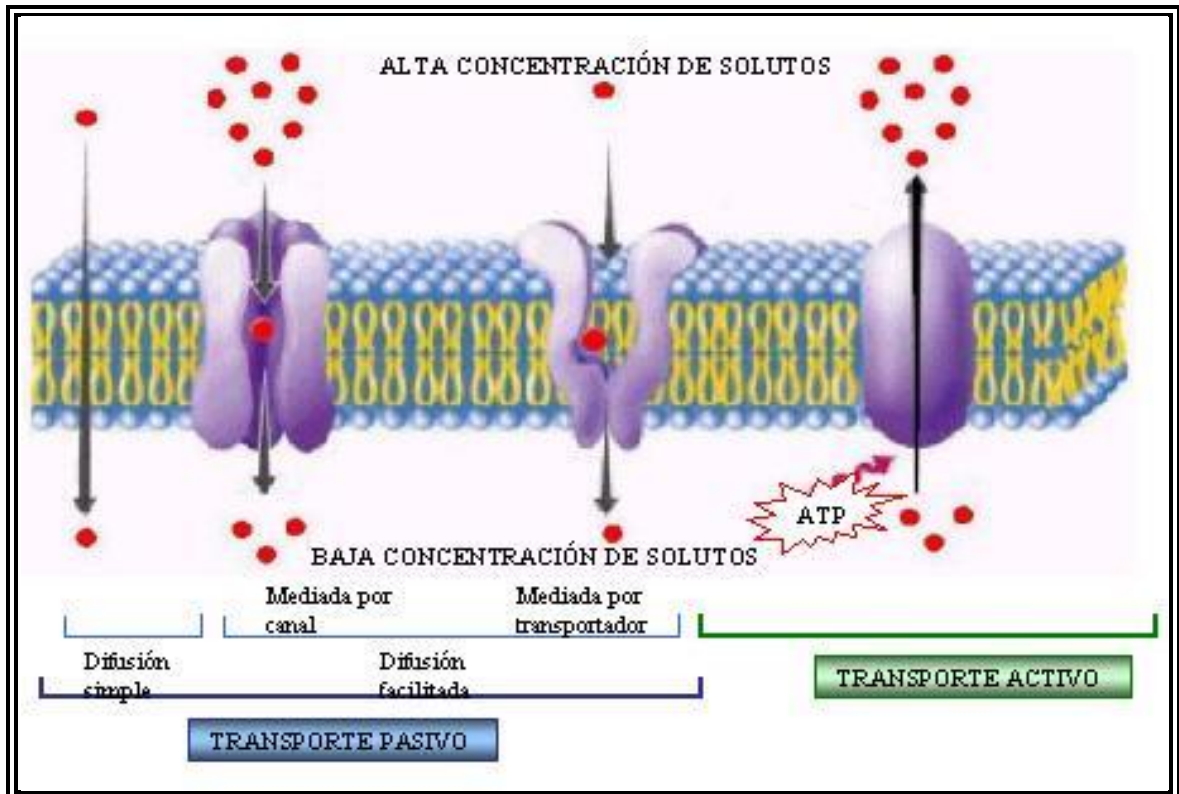
La bicapa de lípidos de la membrana es ideal para prevenir la pérdida de solutos polares con carga eléctrica de una célula, pero deben tenerse algunas precauciones en relación con el ingreso de nutrientes y la salida de productos de desperdicio que pudieran ser bloqueados por la bicapa de lípidos relativamente impermeable. Por estas razones, la membrana plasmática es una barrera con **permeabilidad selectiva**; es decir, no es igualmente permeable a todo tipo de solutos. Esta selectividad permite que la concentración de sustancias dentro de las células sea notablemente diferente de su concentración en el exterior, condición necesaria para la vida de una célula (Starr y Taggart, 2004).

Para entender la naturaleza selectivamente permeable de la membrana plasmática es necesario considerar cómo atraviesan esta estructura las moléculas individuales.

Se conocen tres procesos básicos mediante los cuales las sustancias se desplazan a través de las membranas:

Ambos tipos de movimiento pueden producir flujo neto de un ion o compuesto particular. El término **flujo neto** indica que el movimiento de la sustancia al interior de la célula (flujo interno) y hacia afuera de la misma (flujo externo) no está en equilibrio, sino que más bien uno excede al otro. (Paniagua et al, 2011).

**3.10.1. Difusión simple.** Algunas moléculas como el agua y los gases hidrófobos como el O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> cruzan las membranas biológicas mediante difusión simple.



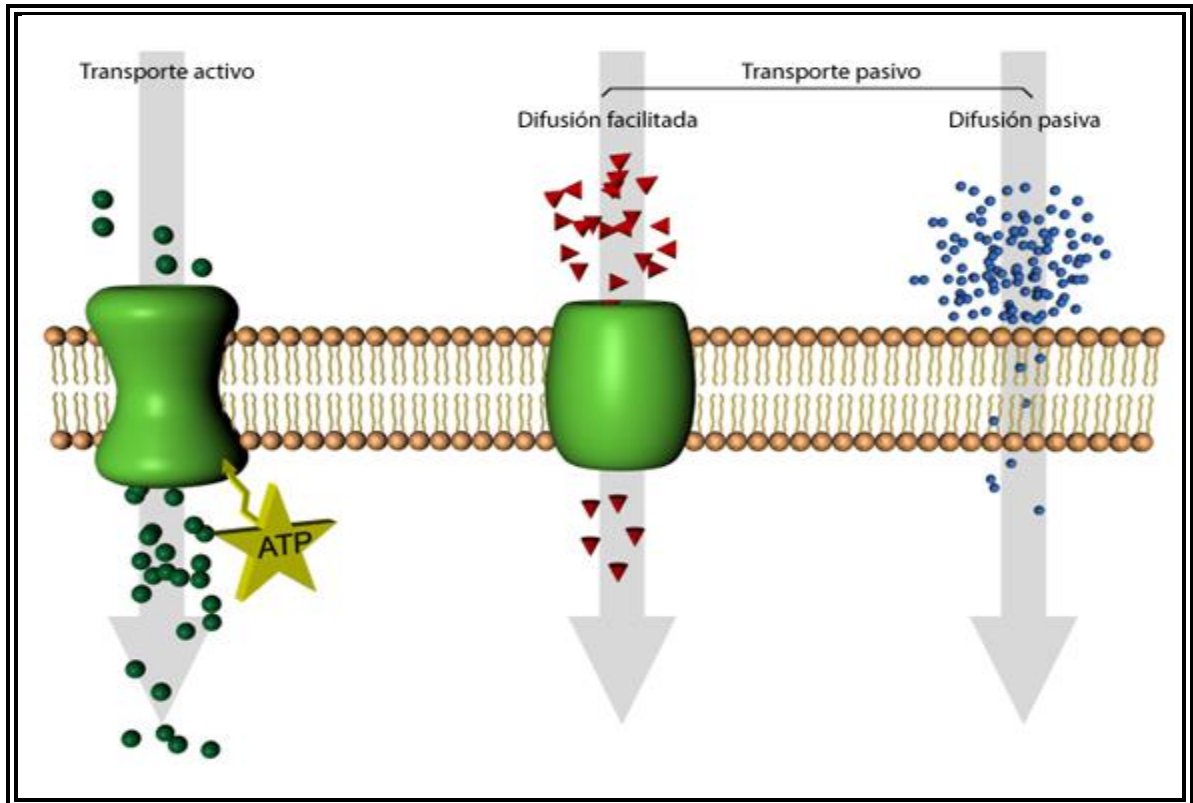
**Figura 3.53.** Procesos básicos de transporte de sustancias a través de la membrana plasmática.

Se denomina difusión el movimiento neto de partículas (átomos, iones y moléculas) de una región de alta concentración a otra de baja concentración, en virtud de la energía cinética que poseen. La difusión implica el movimiento neto de partículas a favor de su gradiente de concentración (diferencia en la concentración de la sustancia de un punto a otro). Sin embargo, esto no significa que sea imposible el movimiento opuesto, es decir, el desplazamiento de las partículas contra el gradiente de concentración. Ver Figura 3.54.

- ❖ Difusión simple (pasivo).
- ❖ Difusión facilitada o transporte mediado por proteínas. Puede ser pasivo o activo.

❖ Transporte masivo. Ver Figura 3.53.

Algunas moléculas pasan directamente a través de la bicapa de fosfolípidos de una membrana por difusión simple, desplazándose del lado de la membrana donde se encuentran más concentradas al lado donde su concentración es menor. Así lo hacen las moléculas que no tienen cargas eléctricas, tales como los lípidos y las moléculas muy pequeñas, como el  $\text{CO}_2$  y el agua (Guyton, 2000).



**Figura 3.54.** Procesos básicos de transporte entre la célula y su entorno. Difusión simple (Pasivo), difusión facilitada y transporte activo.

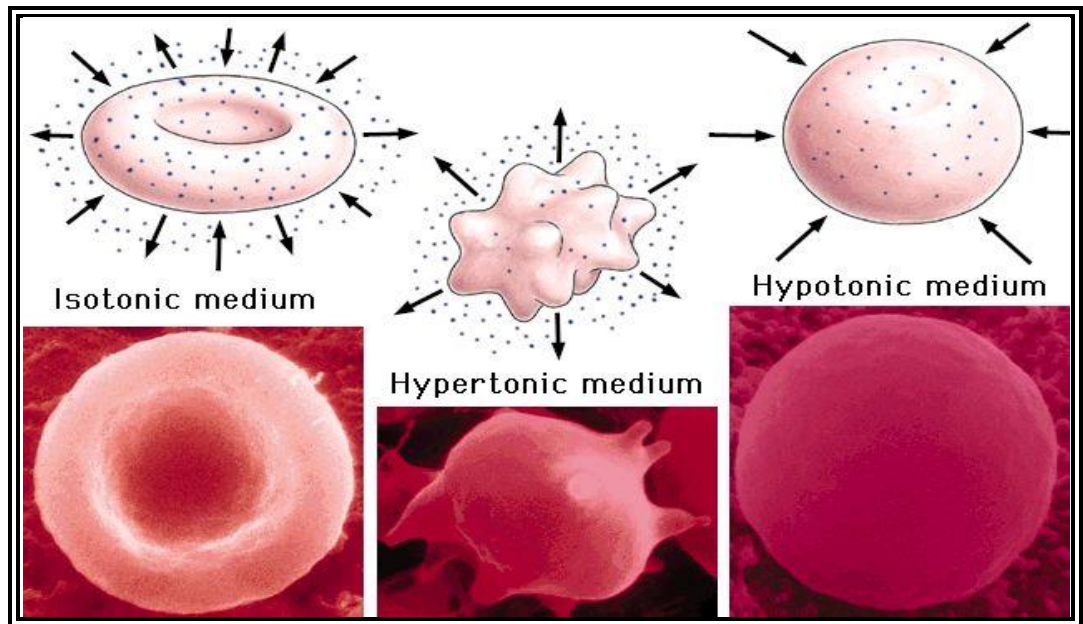
El transporte a través de una membrana por difusión simple no requiere gasto de energía por parte de la célula ni la acción de proteínas de membrana. Es un proceso lento que puede acelerarse elevando la temperatura o incrementado el gradiente de concentración. Para moléculas grandes como los azúcares, aminoácidos y pequeñas moléculas con carga eléctrica como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$  el paso a través de las membranas biológicas por difusión simple es o muy lento o imposible.

Por cuanto las moléculas tanto en el exterior como en el interior de la célula se encuentran en solución es necesario distinguir entre la difusión del solvente (ósmosis) y la difusión del soluto (diálisis).

**Difusión de agua a través de las membranas.** Las moléculas de agua se desplazan con mayor rapidez a través de una membrana celular que los iones y pequeños solutos polares comúnmente presentes en las células, los cuales son casi impenetrables. Debido a esta diferencia de penetrabilidad del agua en comparación con solutos se dice que las membranas son diferencialmente permeables. El agua se mueve rápidamente a través de una membrana semipermeable desde una región de baja concentración hasta otra de alta concentración de *soluto* (Mader, 2008).

Este proceso se denomina **ósmosis** y puede demostrarse fácilmente colocando la célula en una solución con una concentración de soluto diferente de la presente en el interior de la propia célula. El agua tiende a entrar en las células, donde la concentración de iones y pequeñas moléculas es mayor que en el medio externo. Para compensar esa entrada de agua, las células han desarrollado diferentes estrategias, como la presencia de paredes celulares rígidas (bacterias, células vegetales), de organelos activos en la expulsión de agua (vacuolas pulsátiles o de bombas de membrana).

**Concentración de los solutos:** Cuando una membrana semipermeable separa dos compartimientos con concentración diferente de un soluto, se dice que el compartimiento de concentración más alta es **hipertónico (o hiperosmótico)** en relación con el compartimiento de concentración más baja de soluto, que se describe como **hipotónico (o hiposmótico)**. Si se coloca una célula en una solución hipotónica, la célula gana agua con rapidez por ósmosis y se hincha. A la inversa, una célula colocada en una solución hipertónica rápidamente pierde agua por ósmosis y se encoge. A partir de estas sencillas observaciones es evidente que el control del volumen celular depende sobre todo de la relación entre concentración de solutos en el interior de la célula en comparación con la concentración en el medio extracelular. Ver Figura 3.55.



**Figura 3.55.** Glóbulos rojos sometidos a medios isotónicos, hipertónicos e hipotónicos.

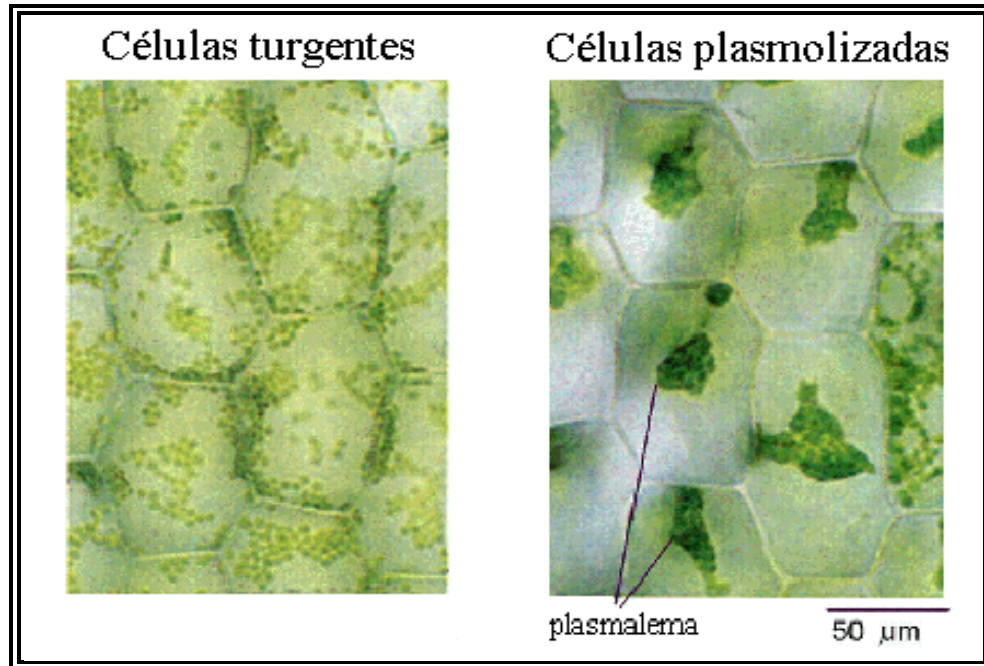
La mayor parte de las células mantienen un volumen apropiado al desplazar iones hacia adentro y afuera de la célula hasta que la concentración interna del soluto (incluyendo una concentración elevada de proteínas disueltas) sea igual a la concentración del soluto externo. En estas condiciones, los líquidos interno y externo son **isotónicos (isomóticos)** y no hay movimiento neto de agua hacia adentro o afuera de la célula. (Solomon et al, 2011).

La ósmosis es un factor importante para numerosas funciones del cuerpo. Por ejemplo, el tubo digestivo secreta litros de líquido que se reabsorbe osmóticamente en las células que revisten el intestino. Si este proceso de reabsorción no ocurre, como en el caso de la diarrea intensa, se corre el riesgo de una rápida deshidratación.

Las plantas aprovechan la ósmosis de diferentes maneras. Cuando una célula vegetal permanece en una solución hipotónica, gana agua y se hincha, igual que una célula animal. La célula animal finalmente estalla en el medio hipotónico, pero la célula vegetal, que posee una pared celular externa rígida, alcanza un volumen máximo y en vez de estallar genera presión interna (*turgencia*) aplicada contra la pared que la rodea.

Si la célula vegetal se coloca en un medio hipertónico, su volumen disminuye conforme la membrana plasmática tira de la pared celular que la rodea, proceso conocido como *plasmólisis*. La presión desarrollada gracias al fenómeno de la turgencia suministra apoyo a las plantas no leñosas y a ciertas partes de las plantas leñosas, como las hojas. La pérdida de agua por ósmosis hace que las

plantas pierdan turgencia y se marchiten. Ver Figura 3.56.

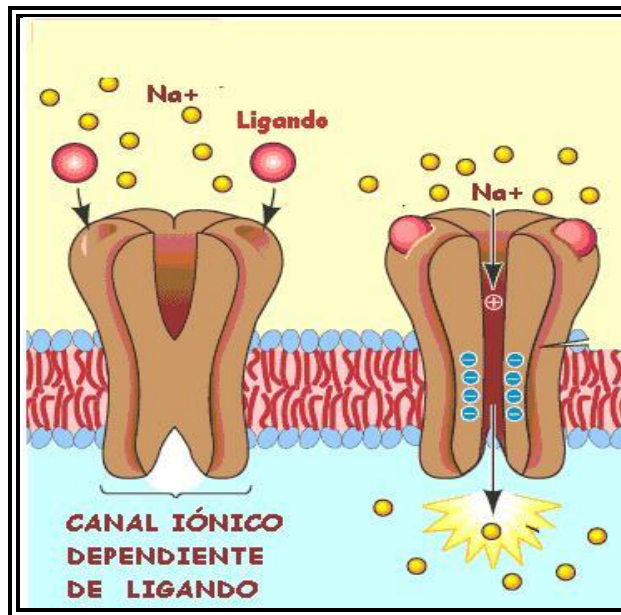


**Figura 3.56.** Ilustración de la **turgencia** y **plasmólisis** en **células vegetales**.

**Difusión de iones a través de la membrana.** La bicapa de lípidos que forma el centro de las membranas biológicas es muy permeable a sustancias con carga eléctrica, incluyendo iones pequeños como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$ . Incluso el movimiento (**conductancia**) de estos iones a través de las membranas desempeña un papel crítico en múltiples actividades celulares, que comprenden generación y propagación de impulsos nerviosos, secreción de sustancias hacia el espacio extracelular, contracción muscular, regulación del volumen celular y abertura de los poros de los estomas situados en las hojas de la planta.

Investigaciones avanzadas determinaron que el paso de estos iones a través de la membrana estaba asociado al contenido de "canales iónicos" permeables a iones específicos. Los biólogos han identificado un sorprendente número de **canales iónicos**, cada uno formado por proteínas integrales de la membrana que rodean un poro acuoso. Ver Figura 3.57.





**Figura 3.57.** Los canales iónicos están formados por proteínas integrales de la membrana que rodean un poro acuoso.

La mayor parte de los canales iónicos son sumamente selectivos y sólo permiten el paso de un tipo particular de ion. Igual que en la difusión de otros tipos de solutos a través de membranas, la difusión de iones por un canal siempre es “cuesta abajo”, o sea, desde un estado de mayor energía a otro de menor energía. Los canales iónicos son *bidireccionales*, permiten el paso de iones en ambas direcciones y el flujo neto del ion depende del gradiente electroquímico. (Karp, 2011).

**3.10.2 Difusión facilitada o transporte mediado por proteínas.** La mayoría de las sustancias necesarias para las células (azúcares, aminoácidos, nucleósidos, vitaminas, etc.) son moléculas polares o con carga neta y atraviesan muy lentamente las membranas por difusión simple para satisfacer las necesidades de las células. Por ello las células han desarrollado numerosos sistemas de transporte basados en proteínas transmembranas de paso múltiple. Si las moléculas se transportan a favor del gradiente, este proceso ocurre espontáneamente y se denomina **transporte pasivo**; en cambio, si lo hacen en contra del gradiente el proceso necesita un aporte de energía para poder realizarse, y se habla entonces de **transporte activo**. (Mouristen y Bloom, 1993)

**Transporte pasivo.** El transporte pasivo puede realizarse bien mediante canales (proteínas de canal) o mediante transportadores (proteínas transportadoras o permeasas). Ver Figura 3.58.

**Proteínas de canal.** Las proteínas de canal forman canales acuosos que permiten el paso de moléculas polares o de iones a velocidades muy superiores a las que

permitiría su difusión simple a través de la bicapa lipídica. Aunque en algunos canales el flujo de sustancias transportadas aumenta linealmente con el gradiente, siguiendo las leyes de la difusión simple, en la mayoría de ellos, el proceso tiende a saturarse con altas concentraciones, lo que indica que la molécula transportada interactúa con el canal proteico. La mayoría de los canales para el paso de iones actúan como puertas transitorias y su apertura y cierre están regulados por diferentes tipos de estímulos.

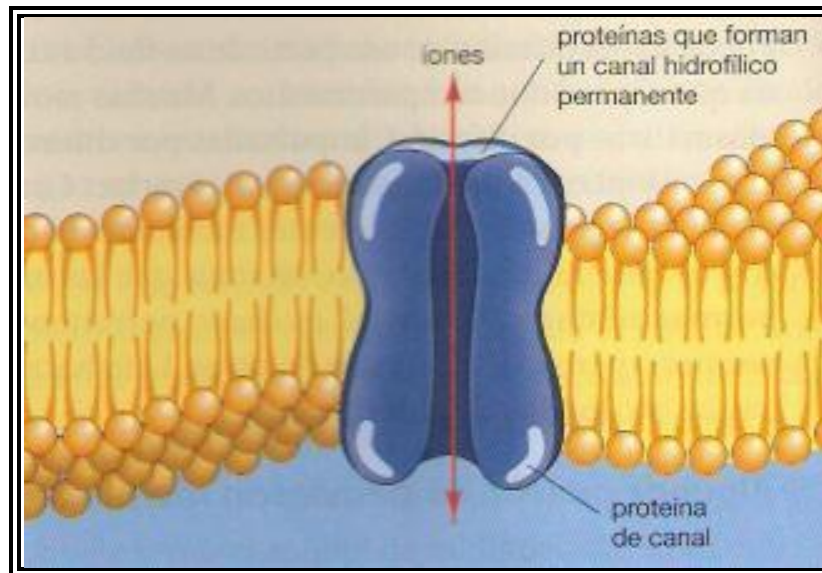
**Proteínas transportadoras. Difusión facilitada.** Las proteínas transportadoras, o permeasas, permiten el paso altamente selectivo de determinadas moléculas o iones. Presentan además una cinética de transporte muy diferente de la difusión simple, saturándose el transporte con determinadas concentraciones, por lo que se denomina *difusión facilitada* (la cinética del transporte por proteínas de canal sería intermedia entre ésta y la de la difusión simple). En la difusión facilitada, cuando la proteína transportadora tiene ocupados todos los centros de unión al sustrato se dice que está saturada, y la velocidad de transporte con esa concentración es máxima ( $V_{máx}$ ).

Como ejemplo de difusión facilitada está la captación de glucosa en el organismo. La glucosa es la principal fuente de energía directa para el cuerpo, y la mayor parte de las células contienen una proteína de membrana que facilita la difusión de glucosa desde la corriente sanguínea al interior de la célula.

Los seres humanos y otros mamíferos estudiados tienen cuando menos cinco proteínas relacionadas con el transporte de glucosa (estas variantes genéticas se refieren como *isomorfias*). Las isomorfias denominadas GLUT1-GLUT5 se diferencian por los tejidos en los cuales se localizan y también por su cinética y características reguladoras.

La insulina, hormona producida por las células endocrinas del páncreas, desempeña un papel clave para mantener una concentración apropiada de azúcar en la sangre. Una de las principales acciones de la insulina es favorecer la captación de glucosa proveniente de la sangre por las células musculares, en cuyo interior se almacena como glucógeno o se emplea directamente como combustible para la actividad muscular y por las células adiposas donde la glucosa se convierte en grasa. (Paniagua et al, 2011).





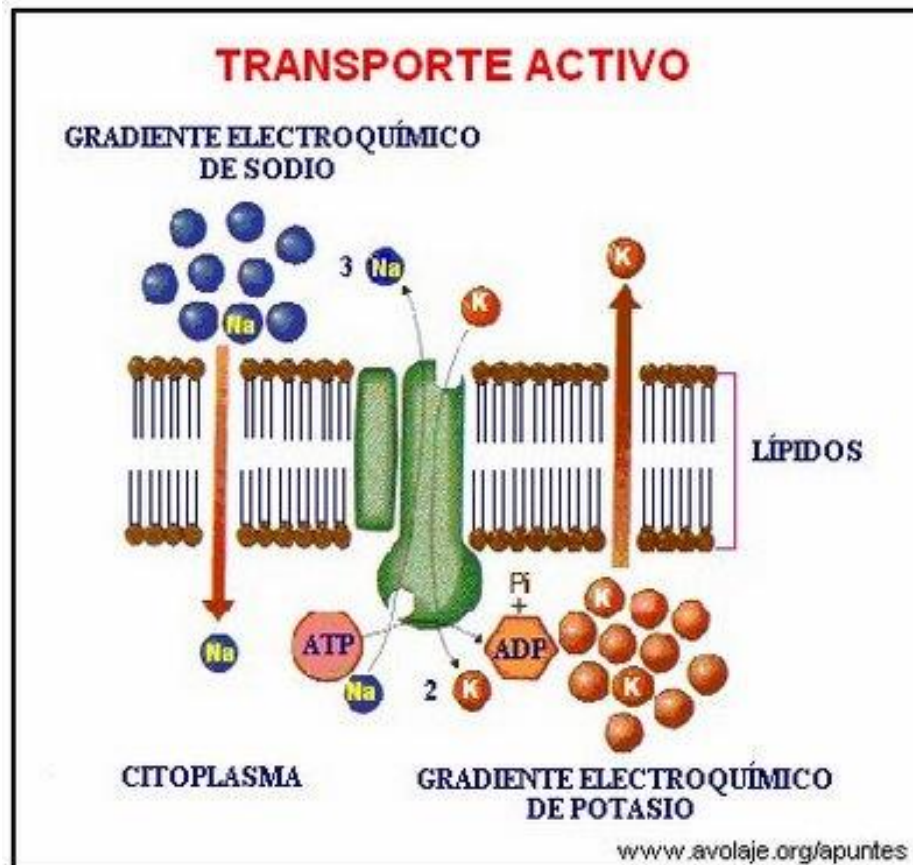
**Figura 3.58.** Ilustración de la difusión facilitada por medio de proteínas transportadoras.

La causa de la *diabetes mellitus* es un defecto de la actividad de la insulina. En pacientes que sufren la enfermedad desde la infancia (diabetes tipo I), por lo general hay deficiencia en la producción de insulina debido a destrucción de las células productoras de insulina por el propio organismo.

Por lo tanto, a los niños con diabetes tipo I de ordinarios se les trata mediante inyección diaria de insulina. Por el contrario, las personas que desarrollan diabetes en la edad adulta (diabetes tipo II), en general muestran concentración normal de insulina; el problema estriba en la incapacidad de las células específicas para responder a la hormona, sea por deficiencia de los receptores de insulina o por deficiencia de las proteínas transportadoras GLUT4 (Cooper y Hausman, 2011).

**Transporte Activo.** Igual que la difusión facilitada, el transporte activo depende de proteínas integradas a la membrana capaces de unirse selectivamente a un soluto particular y desplazar dicha sustancia a través de la membrana impulsada por cambios en la conformación de la proteína. Sin embargo, a diferencia de la difusión facilitada, el movimiento de un soluto contra un gradiente requiere acoplar el ingreso de energía.

En consecuencia, el movimiento endergónico de iones o de otros solutos a través de la membrana contra un gradiente de concentración debe acoplarse a un proceso exergónico, como hidrólisis de ATP, absorción de luz, transporte de electrones o flujo de otras sustancias a favor de un gradiente.



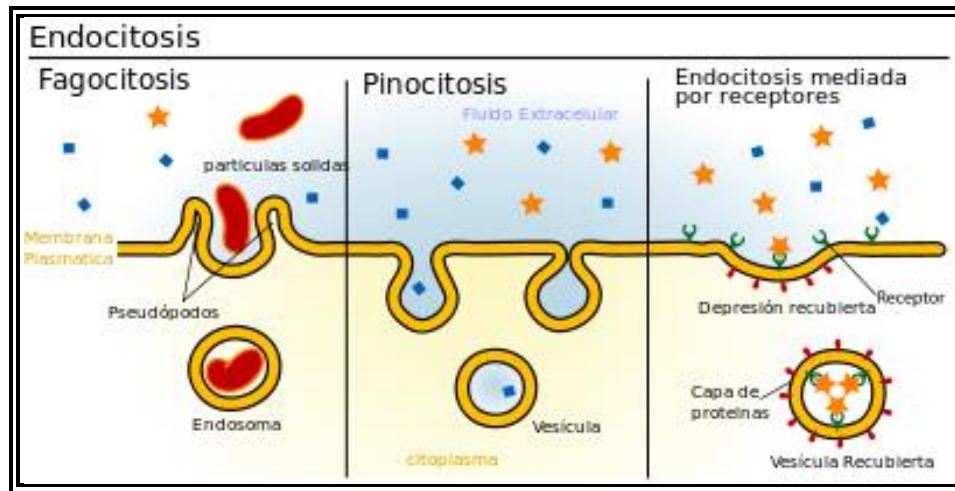
**Figura 3.59.** La bomba de sodio y potasio  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  es un ejemplo de transporte activo en la membrana plasmática.

Debido al transporte activo se consigue que las concentraciones extra e intracelulares de algunos iones sean diferentes. El transporte puede ser tanto en una sola dirección o en ambas direcciones, y es realizado por permeasas. Una de las permeasas mejor estudiadas es una enzima transmembranosa: la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  o  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasa. El bombeo de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  está asociado a la actividad ATPasa de esta proteína. El  $\text{Na}^+$ , que entra libremente a favor del gradiente eléctrico y de concentración por canales y cotransportadores (el interior de la membrana plasmática es negativo), es expulsado por la bomba hacia el exterior, en contra del gradiente, con gasto de energía. Por cada molécula de ATP hidrolizada (en un segundo, una  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasa puede hidrolizar 100 moléculas de ATP), se bombean tres  $\text{Na}^+$  hacia el exterior y dos  $\text{K}^+$  hacia el interior. De esta manera, la célula acumula carga negativa en su interior. Ver Figura 3.59.

Las ATPasas son extremadamente específicas, y las reacciones que catalizan dependen estrictamente de la localización de la enzima en relación con los sustratos de la reacción. Los sitios activos en los que se fijan el sodio y el potasio se encuentran, respectivamente, en la cara interna y externa de la membrana. Esta polarización del sistema implica que la enzima posea una estructura

asimétrica y una orientación constante. (Starr y Taggart, 2004).

**3.10.3. Transporte masivo.** Las células eucariotas también son capaces de captar macromoléculas y partículas del medio circundante por un proceso distinto llamado **endocitosis**. En la endocitosis, el material que se va a introducir es rodeado por una porción de la membrana plasmática que luego se invagina para formar una vesícula que contiene el material ingerido. Ver Figura 3.60.



**Figura 3.60.** Diferentes tipos de endocitosis: fagocitosis, pinocitosis, y transporte mediado por receptores.

El término endocitosis, fue acuñado por Christian de Duve en 1963 e incluía tanto la ingestión de partículas grandes (como bacterias) como la entrada de fluidos o macromoléculas en pequeñas vesículas. La endocitosis se puede dividir de manera muy general en dos categorías:

- ❖ endocitosis a granel
- ❖ endocitosis mediada por receptores (EMR).

La **endocitosis a granel** consiste en la captación de líquidos extracelulares que la superficie de la membrana no reconoce. Cualquier molécula, grande o pequeña, incluida en el líquido también penetra a la célula. La endocitosis a granel puede ocurrir de manera continua en muchos tipos de células y su función primaria puede centrarse en la recuperación de membrana plasmática luego de periodos de secreción o durante el ingreso de líquido extracelular. (Cooper y Hausman, 2011).

**Endocitosis mediada por receptores (EMR).** Este tipo de transporte masivo consiste en la incorporación de macromoléculas extracelulares específicas (**ligandos**) luego de unirse a proteínas receptoras en la superficie exterior de la membrana plasmática. Ver Figura 3.61.

La EMR proporciona un medio para la captación selectiva y eficiente de macromoléculas que pueden estar presentes en concentraciones relativamente bajas dentro del fluido extracelular.

Las células poseen proteínas receptoras que captan diversas sustancias que incluyen hormonas, factores de crecimiento, enzimas y proteínas plasmáticas. Los ligandos que penetran en la célula por medio de EMR se unen a las proteínas receptoras que se agrupan en regiones especializadas de la membrana plasmática, conocidas como **depresiones revestidas** que se reconocen en el microscopio electrónico como sitios donde la membrana plasmática está cubierta en su cara citoplásmica por una capa de filamentos densos constituida por la proteína **clatrina** (Vaidyanath, 2009).

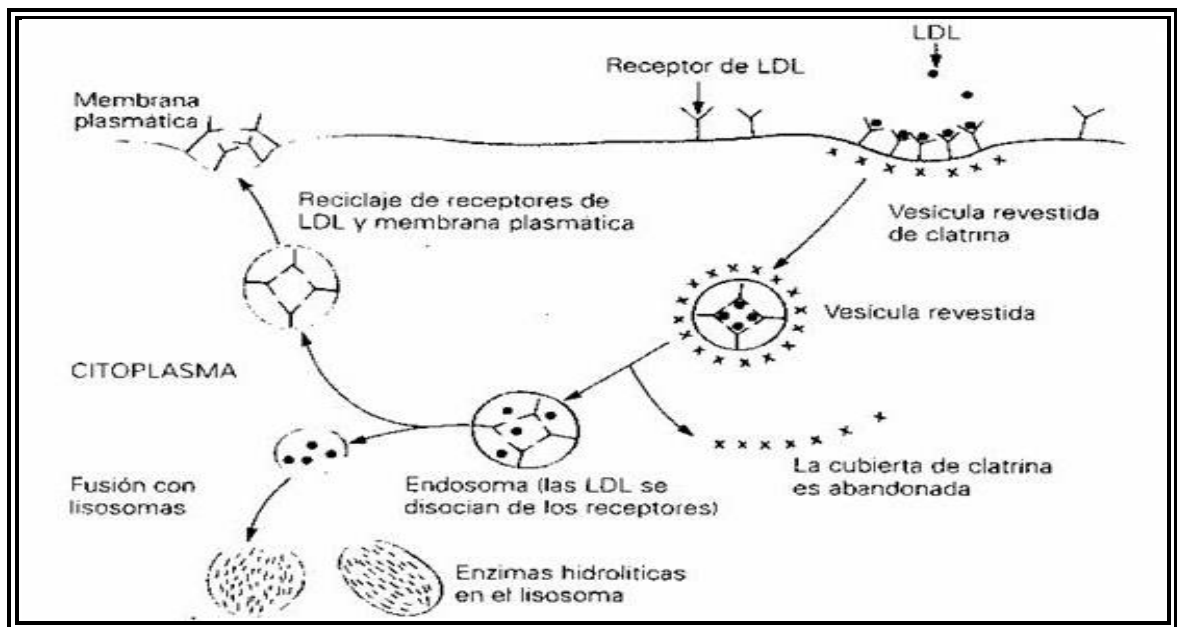
Una depresión revestida sobre la membrana plasmática se invagina al interior del citoplasma y forma una vesícula revestida con **clatrina** (una proteína). El revestimiento forma transitoriamente una especie de carcasa alrededor de la vesícula. No obstante, segundos después de liberada la vesícula, el revestimiento se separa de ella que queda libre en el citoplasma. Enseguida la vesícula se fusiona con otras similares y forma **endosomas**. El material captado por endocitosis de ordinario se descarga en una red de túbulos y vesículas que en conjunto se conocen como **endosomas** (Smith y Wood, 1997).

Algunos virus utilizan la endocitosis mediada por los receptores para invadir a sus células hospederas, tal como sucede con el virus responsable del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (VIH). Este virus contiene en su capa externa una proteína que se asemeja a una proteína receptora (llamada CD<sub>4</sub>) en la membrana plasmática de ciertos leucocitos de la sangre. Cuando estas dos proteínas se combinan, el virus se introduce por endocitosis a la célula.

Entre las endocitosis mediadas por receptores, la primera estudiada y mejor comprendida es la que suministra colesterol exógeno a las células. El colesterol es una molécula hidrófoba que no puede transportarse en la sangre en estado libre. En vez de ello, se transporta como un complejo gigante denominado *lipoproteína de baja densidad* (LDL) compuesto por colesterol, fosfolípidos y proteínas.

Los receptores LDL son transportados a la membrana plasmática, donde se concentran en las depresiones revestidas, incluso en ausencia de ligando. Como consecuencia, los receptores están “a la espera” sobre la superficie de la célula para captar estas partículas de lipoproteínas en el momento que estén disponibles. Una vez que las partículas LDL se unen a una depresión revestida, ésta se invagina para formar una vesícula revestida, el recubrimiento de clatrina se desensambla y los receptores LDL son reciclados de vuelta a la membrana plasmática. Mientras tanto, las partículas LDL se liberan en los lisosomas donde se descompone el componente proteínico y se libera colesterol para emplear en la

célula en el ensamblaje de la membrana o en otros procesos metabólicos (p. ej., síntesis de hormonas esteroideas) (Smith y Wood, 1997).



**Figura 3.61.** Ilustración de la endocitosis mediada por receptores. Partículas de lipoproteínas de baja densidad (LDL) que transportan el colesterol en la sangre se unen a proteínas receptoras específicas de la membrana plasmática de las células hepáticas. Los complejos receptores-LDL se mueven en la superficie de la membrana líquida y se agrupan en depresiones recubiertas de dicha superficie. La endocitosis causa la formación de una vesícula recubierta, las vesículas se fusionan con otras hasta formar endosomas, en los cuales se disocian proteínas receptoras y partículas de LDL. De ésta forma se generan nuevas vesículas que contienen, unas, las proteínas receptoras y otras, las partículas de LDL; éstas últimas se fusionan con los lisosomas cuyas enzimas liberan el colesterol.

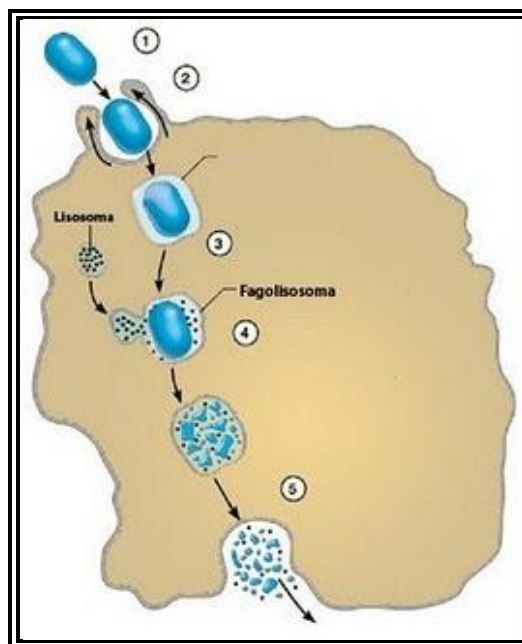
El número de receptores LDL presentes en determinada célula es modulado por las necesidades metabólicas de la célula. Si ésta crece activamente y sintetiza grandes cantidades de membrana o produce hormonas esteroideas, la cantidad de receptores aumenta y es mayor el número de partículas LDL captadas del medio que las rodea. (Nelson *et al*, 1998.)

La concentración de LDL (o el contenido de colesterol) en la sangre guarda estrecha correlación con el desarrollo de aterosclerosis, padecimiento caracterizado por reducción del calibre de las arterias. La oclusión arterial es consecuencia de un proceso complejo y mal comprendido que incluye depósito de placas que contienen LDL en la pared interna de los vasos. Además de reducir el flujo sanguíneo, las placas ateroscleróticas actúan como sitios para la formación de coágulos sanguíneos que pueden impedir por completo el flujo de sangre a través de un vaso. Los coágulos sanguíneos formados en las arterias coronarias son la causa principal de infarto al miocardio (ataque cardíaco).

Las LDL no son el único agente que transporta colesterol en la sangre. Las **HDL (lipoproteínas de alta densidad)** poseen una estructura similar pero contienen proteínas diferentes y desempeñan un papel fisiológico distinto en el cuerpo. En tanto las LDL sirven principalmente para llevar moléculas de colesterol del hígado, donde son empacadas, a través de la sangre hacia las células del cuerpo, las HDL transportan colesterol en dirección opuesta, desde las células del cuerpo hacia el hígado, donde es captado por endocitosis y excretado como parte de la bilis. Así como las concentraciones elevadas de LDL se relacionan con mayor riesgo de ataque cardíaco, las concentraciones altas de HDL se asocian a menor riesgo. Las HDL tienen este efecto debido a que permiten al hígado eliminar colesterol de la sangre (Solomon *et al*, 2011).

**Fagocitosis.** La fagocitosis (“células que comen”) es ejecutada extensamente por unos pocos tipos de células especializadas en captar partículas sólidas del ambiente y entregarlas al lisosoma.

Los organismos heterótrofos unicelulares, como amibas y ciliados, se mantienen vivos atrapando partículas alimentarias y organismos más pequeños, y aprisionándolos en pliegues de la membrana plasmática. Los pliegues se fusionan para formar una vacuola (o *fagosoma*) que se desprende de la membrana plasmática. El fagosoma se fusiona con un lisosoma y así el material se digiere en el interior de la célula.



**Figura 3.61.** La fagocitosis comprende la incorporación de material dentro de la célula y el procesamiento del mismo.

En casi todos los animales evolutivamente desarrollados, la fagocitosis es un mecanismo protector y no una manera de alimentarse. Los mamíferos poseen varias células fagocitarias o **fagocitos** que incluyen macrófagos y leucocitos heterófilos o neutrófilos (Paniagua *et al*, 2011).

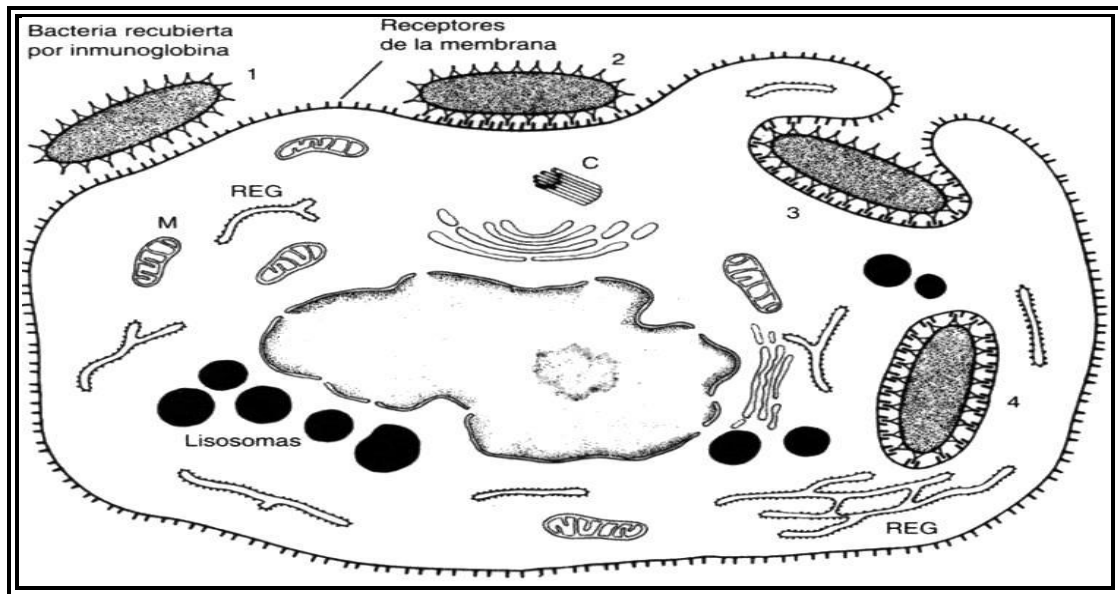
La función de estos fagocitos es movilizarse por la sangre y los tejidos fagocitando organismos invasores, células dañadas, eritrocitos envejecidos y desperdicios. La actividad contráctil de microfilamentos subyacentes a la membrana plasmática que contiene actina controla la captación de partículas sólidas por fagocitosis. (Nelson, 2010).

La fagocitosis se inicia cuando las proteínas o los grandes polisacáridos de la superficie de la partícula que va a ser fagocitada, como una bacteria, una célula muerta u otros restos tisulares, se unen a los receptores de la superficie del fagocito. En el caso las bacterias, éstas suelen estar ya unidas a un anticuerpo específico que es el que se ancla a los receptores del fagocito arrastrando consigo a la bacteria. (Mader, 2008).

Para poder capturar las partículas de gran tamaño, ambos tipos de fagocitosis permiten la emisión de unas proyecciones laminares del citoplasma (pseudópodos), las cuales rodean las partículas y se cierran sobre ellas, formando una gran vacuola de endocitosis (fagosoma) que se introduce en el citoplasma. Los fagocitos están provistos de numerosos lisosomas que se unen a los fagosomas, formando los denominados fagolisosomas, en los que el material captado se digiere por la acción de las hidrolasas acidas lisosomales. Durante la maduración del fagolisosoma, algunas de las proteínas de membrana captadas se reciclan a la membrana plasmática.

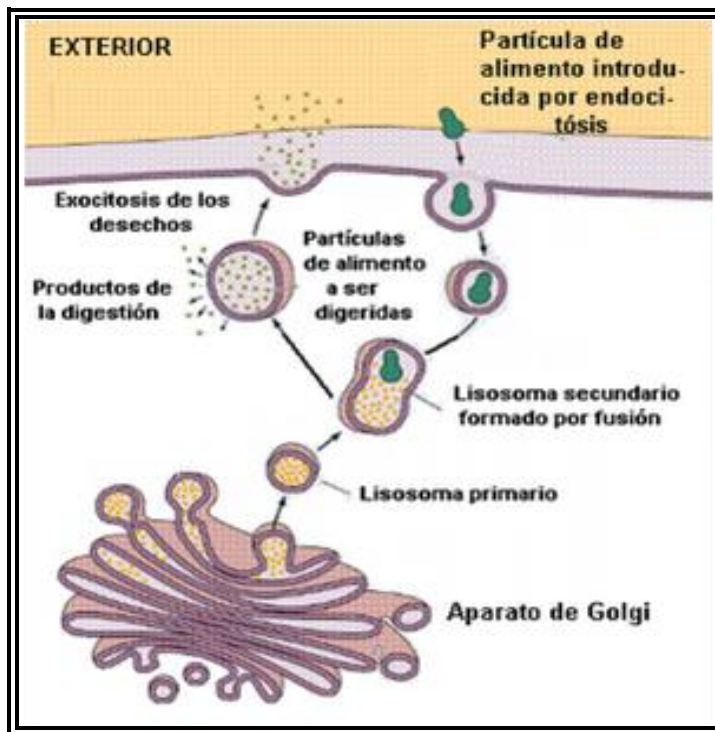
Los fagolisosomas terminan formando cuerpos residuales. Sin embargo, ante una infección considerable, los fagolisosomas formados pueden acumular tal cantidad de bacterias que su membrana se rompe y libera las enzimas, que terminan con el leucocito y originan pus.





**Figura 3.62.** Etapas de la fagocitosis de una bacteria atacada por una inmunoglobulina. Tomado de Junqueira.

**Exocitosis.** La exocitosis es el proceso inverso a la endocitosis y es utilizado para que la célula vierta al exterior diversas sustancias, como enzimas u hormonas. El proceso más representativo de la exocitosis es la *secreción celular*. Hay dos tipos de secreción. Ver Figura 3.63.





**Figura 3.63.** Ilustración del proceso de exocitosis o expulsión del material fuera de la célula.

- ❖ *Secreción constitutiva:* Es realizada por todas la celular y de un modo continuo mediante vesículas y de un modo continuo mediante vesículas que proceden del complejo de Golgi y se funcionan a la membrana plasmática. Corresponde a sustancias que van destinadas al medio extracelular (como la lamina basal de las células epiteliales y los proteoglicanos y proteínas de la matriz extracelular), o a la propia superficie celular como receptores de superficie, pudiendo asimismo incluirse en este tipo de secreción la renovación de la membrana plasmática y su glucocálix.
- ❖ *Secreción regulada:* Se produce solo en algunas células, que se denominan *células secretoras*, y únicamente cuando la célula es estimulada por una señal extracelular, generalmente un mensajero químico, que se une a los receptores de la superficie celular y genera cambios intracelulares, como el aumento en la concentración de  $Ca^{++}$ . La secreción regulada ocurre por ejemplo, en células que producen y liberan hormonas o enzimas digestivas y en células nerviosas que liberan sustancias neurotransmisoras. En muchas de estas células la secreción se realiza en una superficie concreta de la membrana, donde se encuentran los receptores adecuados para la sustancia transportada (secreción polarizada). El estímulo para la exocitosis puede ser nervioso (acetilcolina en el páncreas) u hormonal (colecistoquinina o pancreozimina en el páncreas) (Cooper y Hausman, 2011)

## **BIBLIOGRAFIA.**

- ALBERS, K and E. FUCHS. 1992. The molecular Biology of intermediate filaments proteins. *Int. Rev. Cytol* 134: 243-279
- ALBERT, F. et al. 2007. The molecular structure of the nuclear pore complex. *Nature* 450: 695-701.
- ALTAN-BONNET, N. et al. 2004. Molecular basis for Golgi maintenance and biogenesis. *Curr Opin Cell Biol.* 16: 364-372.
- AMAR-COSTESECC, A. 1989. Reticulum endoplasmique: anatomie d'une membrane biologique. *Reprod Nutr Devel*, 29: 621-638.
- AMOS, L. A. and W. B. AMOS. 1991. *Molecules of the cytoskeleton.* Guilford Press.
- BAINTON, D. 1981. The discovery of lysosome. *J. Cell Biol*, 91: 66-76.
- BENNETT M.V.L. et al. 1991. Gap junctions. New tools, new answer, new questions. *Neuron* 6: 305-320.
- BEYER E.C. 1993. Gap junctions. *Int. Rev. Cytol.* 137c: 1-37.
- BOLLER, T. H. KENDE 1979. Hydrolitic enzymes in the central vacuole of plant cells. *Plant Physiol*, 63: 1123-1132.
- BORORAD, I. 1981. Chloroplasts. *J. Cell Biol.* 91: 2561-2701
- BRANCO, M. R and A. POMBO. 2007. Chromosome organization: new facts, new models. *Trends Cell Biol.* 17: 127-134.
- BRAY, D. 1992. *Cell movement.* Garland.
- BRETSCHER, M. S. 1998. Movimiento de las células animales. *Investigación y Ciencia*, 137: 64-71.
- BROCK, Thomas D. y Michael T. MADIGAN. 2011. *Microbiología.* 12a ed. México: Prentice Hall.

- BUSS, F. Spudich G. and J. KENDRICK-JONES. 2004. Cellular functions and motor properties. *Annu Rev Cell Dev Biol*, 20: 649-676.
- CAIMS, J. et al. 2007. Phage and the origins of molecular Biology. The centennial edition. N. Y. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- CAMPBELL, E. M. and T. J. HOPE. 2003. Role of cytoskeleton in nuclear import. *Adv Drug Deliv Rev*. 55: 761-771.
- CHAN, DC. 2006. Mitochondria: dynamic organelles in disease, aging, and development *Cell* 125: 1241 – 1252.
- CHRISPEELS, M.J and M.V. RAINHEL. 1992. Short peptide domains target proteins to plant vacuoles. *Cell* 68: 613-616.
- CLEVELAND, D.W. and M. S. MOOSEKER. 1994. Cytoskeleton. *Curr. Opin. Cell Biol* 6 (1).
- COOPER, J. A. and T. J. MITCHISON. 1995. Cytoskeleton. *Curr. Opin. Cell Biol* 7 (1).
- COOPER, Geoffrey y Robert E. HAUSMAN. 2011. *La Célula*. 5a ed. Madrid: Marbán.
- CRISP, M and B. BURKE. 2008. The nuclear envelope as an integrator of nuclear and Cytoplasmic architecture. *FEBS Lett*. 582: 2023-2032.
- CUERVO, A.M. 2004. Autophagy: in sickness and in health. *Trends Cell Biol* 14: 70-77.
- DE DUVE, C. 2007. The originin of eukaryotes: a reappraisal. *Nature Rev. Genet*, 8: 395-403.
- De MATTEIS, M.A. and A. LUINI. 2008. Exiting the Golgi complex. *Nature Rev. Mol Cell Biol*, 9: 273-284.
- DETMER, S. A. and D. C. CHAN. 2007. Functions and dysfunctions of mitochondrial dynamics. *Nat. Revs. Mol. Cell Biol* 8: 870-879.
- DICE, J.F. 1992. Selective degradation of cytosolic proteins by lysosoms. *Ann NY Acad Scti* 674: 58-64.
- DUNN, W.A. 1990. Studies on the mechanism of autophagy: foamation of the autophagy vacuole *J. Cell Biol*, 110: 1932-1934.
- FINERAN, B.A. 1971. Ultrastructure of vacuolar inclusions in root tips. *Protoplasma*, 72: 1-18.
- FLINT, S. et al. 2003. *Principles of Virology*: 2<sup>nd</sup> ed. Washington, D.C, ASM Press.
- FUCHS, E. and K. WEBER, 1994. Intermediate filaments: structure, dynamics, function, and disease. *Ann Rev. Biochem*. 63: 345-382.
- FURINI, M. et al. 1993. Occludin: a novel integral membrane protein localizing at tight junctions. *J. Cell Biol*. 123: 1777-1788.
- FUKUDA, M. 1991. Lysosomal membrane glucoproteins. *J. Biochem* 266: 21327-21332
- GIBBONS, J. R. 1981. Cilia and flagella of eucaryotes. *J. Cell Biol*, 91: 1071-1241.

- GOLDMAN, Y. et al. 2002. Nuclear lamins: building blocks of nuclear architecture. *Genes Dev.* 16: 533-547.
- GRACY, E. 1994. Cytoskeleton, motile structures and macromolecular crowding. *Adv Exp Med Biol*, 358: 123-130.
- GUYTON, Arthur. 2000 *Tratado de fisiología médica*. 10ª ed. McGraw-Hill. Madrid.
- HAKOMORI S. Glucoesfingolípidos. *Investigación y Ciencia*. 1986; 118; 14-24.
- HELENIUS, A. and M. AEBI. 2004. Roles of N-linked glycans in the endoplasmic reticulum. *Ann Rev Biochem* 73: 1019-1049.
- HYAMS, J. S. and C.W. LLOYD. 1994. *Microtubules*. Wiley-Liss.
- KARP, Gerald. 2011. *Biología celular y molecular*. 6ª ed. México: Mc Graw-Hill.
- KELLOG, D.R. et al. 1994. The centrosome and cellular organization. *Ann Rev. Biochem.* 63:639-674.
- KNIPE, D. M. et al. 2007. *Fields virology*. 5th ed. USA: Lippincott.
- LEGAN, P. K et al. 1992. The molecular biology of desmosomes and hemidesmosomas. What's in a name? *Biocss*, 14: 385-393.
- LINDORF, H. et al. 2006. *Botánica*. 2a ed. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- LUZIO, J.P. et al 2005. Lysosomes: fusion and function *Rev. Mol Cell Biol* 8: 622-632.
- MACKINNON, R. 2005. Structural biology: membrane protein insertion and stability. *Science* 307: 1425-1426.
- MACHESKY, L. M. and M. SCHLIWA. 2000. Cell dynamics: a new look at the cytoskeleton. *Nat Cell Biol*, 2: E 17-18.
- MADER, Sylvia. 2008. *Biología*. 9a ed. México: Mc Graw-Hill.
- MATILDE, P. 1978. Biochemistry and function of vacuoles. *Annu Rev Physiol*, 29:139-213.
- MITCHISON, T. J. 1995. Evolution of a dynamic Cytoskeleton. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 349: 299-304.
- MOURITSEN OG, M. BLOOM. Models of lipid-protein interactions in membranes. *Annu Rev. Biophys Biomol Struct*, 1993; 22: 417-431.
- NASON, Alvin. 2010. *Biología*. México: Limusa.
- NELSON, Alvin. 2010. *Biología*. México: Limusa.
- NEUFELD, E.F. 1991. Lysosomal storage diseases. *Ann. Rev. Biochem* 60: 257-280.
- OLSON, M. D. et al. 2002. Conventional and no conventional roles of the nucleolus. *Int Rev. Cytol* 219: 199-266.
- O'ROURKE, B. 2007. Mitochondrial ion channels. *Ann. Rev. Physiol* 69: 19-49.
- PANIAGUA, Ricardo et al. 2007. *Biología celular*. 3ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.

- POLLARD, T. D. 1993. Proteins as machines. *Nature* 355: 17-18.
- POLLARD, T.D and R.D. GOLDMAN. 1993. Cytoplasmic and cell movility. *Curr. Opin. Cell Biol* 5 (1).
- PORTER, K. R. y J. B. Tucker, 1981. El armazón celular. *Investigación y Ciencia*. 56: 16-28.
- PRESLEY, J.F, et al. 1997. ER-to-Golgi transport visualized in living cells. *Nature* 389: 81-85.
- PURVES, William K. et al. 2001 *Life. The Science of Biology*. 6<sup>th</sup> ed. USA: Sinauer Associates.
- RAPOPORT, T.A. 2007. Protein translocation across the eukaryotic endoplasmic reticulum and bacterial plasma membranes. *Nature* 450: 663-669.
- ROGERS, S.L., GELFAND VI. 2000. Membrane trafficking, organelle transport and the cytoskeleton. *Curr. Opin. Cell Biol*, 12: 57-62.
- RUBIN, L.L. 1992. Endothelial cells: Adhesión and tight junctions. *Curr. Opin. Cell Biol*. 4: 830: 833.
- SCHARZ, M.A. et al. 1993. Desmosomes and hemidesmosomes. Constitutive molecular components. *Ann. Rev. Cell Biol*. 6: 461: 491.
- SCHNEEBERGER, E.E and R.D. LYNCH. 1992. Structure, junction, and regulation of cellular tight junctions. *Amer. J. Physiol*. 262: L647-L661.
- SEGLEN, P.O.P. BOHLEY. 1992. Autophagy and other vacuolar protein degradation mechanism. *Experientia*, 48: 158-172.
- SHEETZ MP. Glycoprotein motility end dynamic domains in fluid plasma membranes. *Annu Rev. Biophys Biomol Struct*. 1993; 22: 414-421.
- SHIBAOKA, H. and R. NAGAI. 1994. The plant cytoskeleton. *Curr. Opin. Cell Biol*, 8: 10-15.
- SHNAPP, B. J. 1995. Molecular motors: two heads are better than one. *Nature* 373: 655-656.
- SINGER, SJ. and GL NICHOLSON. The fluid mosain model of structure of cell membrane, *Science*, 1972; 175; 720-731.
- SMITH, C.A y E.J WOOD. 1997. *Biología Celular*. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana.
- SMITH, L.G. and D. G. OPPENHEIMER. 2005. Spatial control of cell expansion by the plant cytoskeleton. *Annu Rev Cell Dev Biol*, 21: 271-295.
- SOLOMON, Eldra Pearl et al. 2011 *Biología de Villée*. 8<sup>a</sup> ed. México: Interamericana Mc Graw- Hill.
- STARR, Cecie, y Ralph TAGGART. 2004. *Biología* 10a ed. México: Thomson.
- SUAREZ, P. et al. 1997. Intracellular crystalline deposits in lymphoplasmacellular disorders. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 106: 170-172.
- TRAN, E. J. and S. R. WENTE. 2006. Dynamic nuclear pore complex: life on the edge. *Cell* 125: 1041- 1053.
- TUCKER, J. 1992. The microtubule- organizing centre. *Bioess*. 14: 861-867.

- VAIDYANATH, K. et al, 2009. Introduction to biology and biotechnology. 2n ed. Hyderabad, India.
- VALE, R. D. 1993. Measuring single protein motors at work. Science 260: 169-170.
- VITALE, A; M.J. CHRISPEELS. 1992. Sorting of proteins to the vacuoles of plant cells. Bioassays, 14: 151-160.
- WALKER, R. A. and M. P. SHEETZ. 1993. Cytoplasmic microtubule – associated motors. Ann. Rev. Biochem 62: 429-451.
- WARNER, f. d. ET AL. 1989. Cell movement. Liss.
- WEGIN, W. P. et al. 1970. Fine structural investigations of nuclear inclusions in plants. J. Ultrastruct Res, 30: 533-557.
- WESTERMANN, B. 2008. Molecular machinery of mitochondrial fusion and fission. J. Biol. Chem. 283: 13501-13505.
- WINK, M. 1993. The plant vacuole: a multifunctional compartment. J. Exp Bot, 44 supp: 231-246.

#### UNIDAD 4. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LAS BIOMOLÉCULAS




---

#### INTRODUCCION

La mayor parte de la masa de un organismo es agua. Si se evapora el agua queda la **materia seca**, formada principalmente por moléculas que contienen átomos de carbono. Los químicos del siglo XIX suponían que las moléculas que contenían carbono solo estaban presentes en los organismos vivos y por lo tanto se les denominó **moléculas orgánicas**, para distinguirlas de las moléculas inorgánicas propias de los objetos inanimados. Sin embargo, investigaciones posteriores permitieron la síntesis en el laboratorio de compuestos con estructura de carbono. En la actualidad, los compuestos producidos por organismos vivos se denominan biocompuestos, biomoléculas o moléculas biológicas.

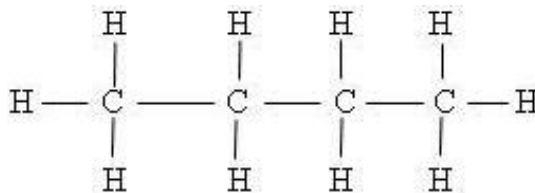
Según sus componentes químicos, las biomoléculas pueden ser:

- ❖ **Moléculas inorgánicas:** Agua, H<sub>2</sub>O, la biomolécula más abundante. Bióxido de carbono –CO<sub>2</sub>, sales inorgánicas como aniones (fosfatos y bicarbonatos) y cationes (amonio).
- ❖ **Moléculas orgánicas:** Carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos. Moléculas propias de los seres vivos.

#### 4.1 ESTRUCTURA MOLECULAR

El átomo de carbono es el eje central de las biomoléculas; la característica esencial del carbono que le permite desempeñar este papel en el increíble número de moléculas que puede formar. El átomo de carbono tiene un total de seis electrones: dos en la primera capa y cuatro en la capa externa. Para adquirir cuatro electrones y completar su capa externa, un átomo de carbono se puede unir con otro átomo de carbono o con los elementos predominantes en los seres vivos: H, O, N, P, K, S.

El enlace C-C es bastante estable, y el resultado del mismo son cadenas de carbono en ocasiones bastante largas. Los hidrocarburos son cadenas de átomos de carbono enlazadas exclusivamente a los átomos de hidrógeno.



El carbono puede formar enlaces dobles con él y otros átomos.  $\begin{array}{c} | \\ -\text{C}=\text{C}- \\ | \end{array}$  Los enlaces dobles restringen el movimiento de átomos ligados, y así contribuyen a la formación de la molécula. Como en el acetileno, H-C≡C-H, el carbono también es capaz de formar un enlace triple consigo mismo. Los esqueletos de carbono pueden ser lineales, ramificados o cíclicos. (Nelson y Cox, 2005).

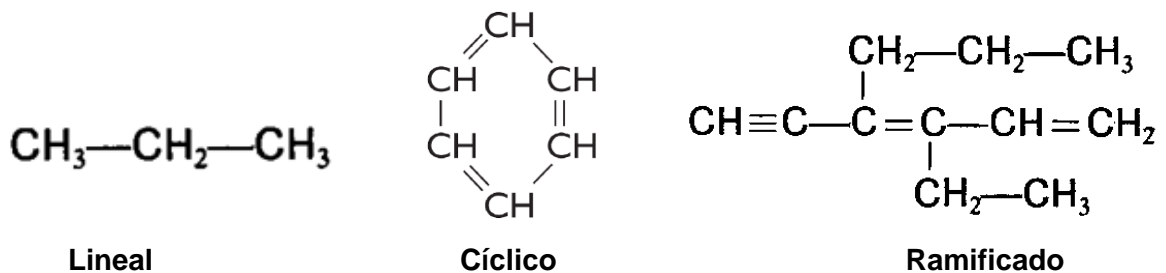


Figura 4.1 La armazón esquelética del carbono puede ser lineal, cíclica y ramificada.

##### 4.1.1 Grupos funcionales. Isómeros

Las moléculas orgánicas de importancia biológica contienen cadenas de átomos de carbono, como los hidrocarburos, pero en la cual ciertos átomos de hidrógeno son sustituidos por diferentes grupos funcionales. Un **grupo funcional** es una combinación específica de enlaces de átomos que siempre reaccionan de la misma manera, sin tener en cuenta el esqueleto particular del carbono. Incluso es aceptable usar una **R** para simbolizar el resto de la molécula, porque solo el grupo funcional está implicado en la reacción. Los grupos funcionales confieren a las moléculas orgánicas sus propiedades físicas, reactividad química y solubilidad en solución acuosa.

Los grupos funcionales tienen nombre y estructura propia y están presentes en ciertos tipos de compuestos. En la tabla 4.1 se presenta una lista de los grupos funcionales más comunes.

Se puede demostrar fácilmente el efecto de sustituir varios grupos funcionales. El hidrocarburo etano ( $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ) es un gas inflamable tóxico. Si se sustituye uno de los hidrógenos con un grupo hidroxilo ( $-\text{OH}$ ), la molécula resultante ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) se convierte en algo agradable al paladar, o sea el alcohol etílico. Si se sustituye por un grupo carboxilo ( $-\text{COOH}$ ) la molécula se convierte en ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), mejor conocido como vinagre. Si se sustituye por un grupo sulfhidrilo ( $-\text{SH}$ ) se obtiene  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$ , compuesto de olor fétido intenso, el etilmercaptano (Mader, 2008).

Grupo funcional	Fórmula general	Serie homóloga	Ejemplos
$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}-\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	$\text{R}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R}'$	Alcanos	$\text{CH}_3-\text{CH}_3$
$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	$\text{R}-\text{CH}=\text{CH}-\text{R}'$	Alquenos	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$
$-\text{C}\equiv\text{C}-$	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{R}'$	Alquinos	$\text{HC}\equiv\text{CH}$
$-\text{OH}$	$\text{R}-\text{OH}$	Alcoholes	$\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$
$-\text{O}-$	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$	Éteres	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{H} \end{array}$	$\text{R}-\text{CHO}$	Aldehídos	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CHO}$
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	$\text{R}-\text{CO}-\text{R}'$	Cetonas	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{OH} \end{array}$	$\text{R}-\text{COOH}$	Ácidos carboxílicos	$\text{CH}_3-\text{COOH}$
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{O}- \end{array}$	$\text{R}-\text{COO}-\text{R}'$	Ésteres	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_3$
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{NH}_2 \end{array}$	$\text{R}-\text{CO}-\text{NH}_2$	Amidas	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{NH}_2$
$-\text{NH}_2$	$\text{R}-\text{NH}_2$	Aminas 1 <sup>rias</sup>	$\text{CH}_3-\text{NH}_2$
$-\text{NH}-$	$\text{R}-\text{NH}-\text{R}'$	Aminas 2 <sup>rias</sup>	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_3$
$-\text{N} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array}$	$\text{R}-\text{N} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \begin{array}{l} \text{R}' \\ \text{R}'' \end{array}$	Aminas 3 <sup>rias</sup>	$\text{CH}_3-\text{N} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{array}$
$-\text{C}\equiv\text{N}$	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$	Nitrilos	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{N}$

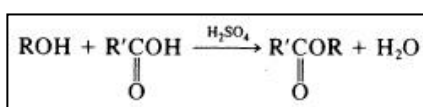
**Tabla 4.1** Grupos funcionales. Las moléculas con el mismo esqueleto de carbono pueden variar según el grupo funcional que se le adiciona.



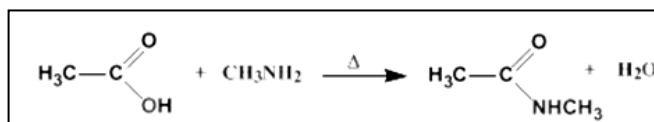
Las moléculas orgánicas que contienen el grupo carboxilo (ácido) (-COOH) son polares. Suelen ionizar y liberar iones de hidrógeno en solución:



Los grupos funcionales determinan la polaridad de una molécula orgánica y también los tipos de reacciones que efectuarán. Dos de las uniones más frecuentes entre grupos funcionales son los **enlaces éster**, los cuales se forman entre ácidos carboxílicos y alcoholes, y los **enlaces amido**, formados entre ácidos carboxílicos y aminas.



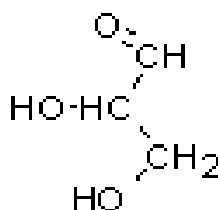
Ácido Alcohol Éster



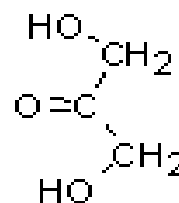
Ácido Amina Amida

Muchos de los grupos funcionales pueden ionizarse y por lo tanto convertirse en partículas con carga negativa o positiva.

**Isómeros.** Los isómeros [del griego *isos*, igual y *meros*, parte, porción] son moléculas orgánicas que difieren en su estructura molecular, con fórmulas moleculares idénticas pero disposición diferente de los átomos. En esencia, los isómeros son variantes en la arquitectura de la molécula. El gliceraldehído y la dihidroxiacetona tienen la misma fórmula molecular empírica  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ . Sin embargo, tienen grupos funcionales diferentes y por consiguiente se comportan de manera desigual en las reacciones químicas (Cooper y Hausman, 2011).



Gliceraldehído

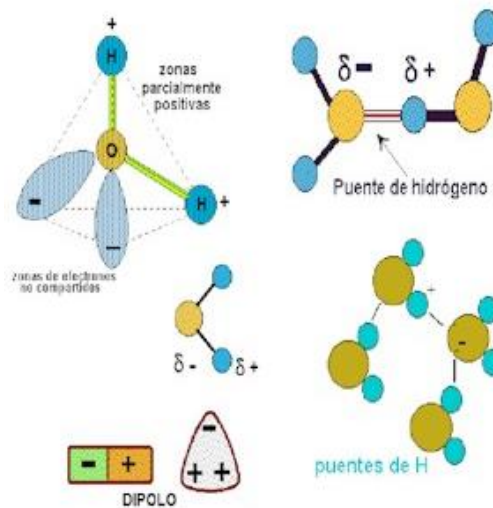


Dihidroxiacetona

## 4.2 EL AGUA: MOLÉCULA VITAL

Las células primitivas evolucionaron en el agua y todos los seres vivos contienen entre el 70% y 80% de agua. Aunque solo posee tres átomos, uno de hidrógeno

y dos de oxígeno, H<sub>2</sub>O, el agua tiene una estructura única que le confiere a esta molécula propiedades especiales. Ver Figura 4.2



**Figura 4.2** Representación esquemática de la estructura molecular del agua.

En conjunto, el agua es una molécula eléctricamente neutra; sin embargo, el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno, es decir tiene mayor afinidad por los electrones, los cuales se encuentran más tiempo sobre el oxígeno que sobre el hidrógeno. Por consiguiente, el átomo de oxígeno tiene una cierta carga negativa mientras que los átomos de hidrógeno poseen una ligera carga positiva. Dada la orientación de los enlaces O - H se puede definir un polo positivo sobre los átomos de hidrógeno y un polo negativo sobre los átomos de oxígeno. La propia molécula del agua es polar, es decir, posee dos cargas iguales y opuestas, separadas en el espacio (Morrison y Boyd, 1976).

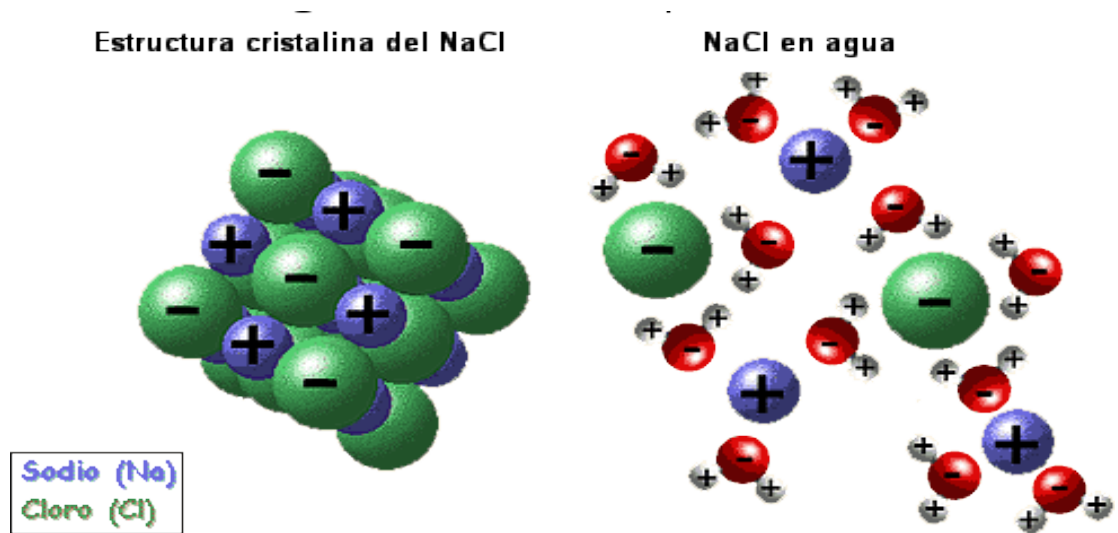
La polaridad dentro de una molécula de agua origina que los átomos de hidrógeno sean atraídos a los átomos de oxígeno en otras moléculas de agua. Esta atracción aunque más débil que un enlace iónico o covalente, se llama **enlace de hidrógeno**. Como un enlace de hidrógeno se rompe fácilmente, a menudo se representa por una línea punteada. Muchos enlaces de hidrógeno juntos son bastante fuertes. Los enlaces de hidrógeno entre moléculas celulares ayudan a conservar su estructura y función apropiadas. Por ejemplo, los enlaces de hidrógeno mantienen juntas las dos cadenas de ADN.

#### 4.2.1 Propiedades del agua

- ❖ **El agua como solvente.** Debido a su estructura bipolar y en un medio líquido la molécula de agua tiene la capacidad de rodear a cualquier otra molécula que presente algún grupo polar o con carga eléctrica, bien sea una sal o una molécula polar. De esta forma al quedar rodeada por moléculas de agua,

cualquier sal o molécula que contenga grupos polares se separará o dispersará disolviéndose finalmente.

Con moléculas de agua entre ellas, las moléculas polares o los iones dispersos no pueden volver a unirse para recuperar su estado sólido. Esta capacidad de dispersión hace que el agua se constituya en el **principal solvente biológico**. Cuando las sales iónicas, por ejemplo cloruro de sodio (NaCl) se ponen en agua, el extremo negativo de las moléculas de agua atraen a los iones de sodio y los extremos positivos de las moléculas de agua atraen a los iones de cloruro. Esto origina que los iones de sodio cloruro, se separen, o disocien en agua (Brown, 2002).



**Figura 4.3** Representación gráfica de la capacidad solvente del agua.

El agua también es un solvente para moléculas más grandes que contienen átomos ionizados o para moléculas polares. Aquellas moléculas que pueden atraer agua se dice que son **hidrofílicas** [del griego *Hydrias*, de agua y *phileo*, amor]. Cuando iones y moléculas se dispersan en agua, se mueven por todas partes y chocan, lo que permite que ocurran las reacciones. Las moléculas no ionizadas y no polares, que no pueden atraer agua se llaman **hidrofóbicas** [del griego *hidrias*, del agua y *phobos*, miedo]. La gasolina contiene moléculas no polares y por consiguiente no se mezclan con el agua y ésta es hidrofóbica.

En realidad, el agua tiene capacidad para disolver numerosas sustancias, mayor que cualquier otro solvente. Pero el agua es mucho más que un simple solvente; es el líquido matriz alrededor del cual se construye la estructura insoluble de la célula. También es el medio a través del cual los materiales se transportan de un compartimiento a otro de la célula; es reactante y producto en muchas reacciones celulares; protege a la célula de muchas maneras: del calor, del frío o de las radiaciones nocivas excesivas.

- ❖ **Efecto termorregulador.** Los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua que se forman de manera transitoria en el estado líquido son capaces de absorber energía en forma de calor. Así, cuando se adiciona calor a un sistema acuoso, los enlaces de hidrógeno absorben parte de dicho calor. De manera similar, cuando se enfría un sistema acuoso los enlaces de hidrógeno se rompen liberando el calor necesario para que no varíe la temperatura. De esta manera, el agua proporciona un ambiente estable a los sistemas biológicos en los cuales las reacciones químicas podrán desarrollarse a temperaturas casi constantes y por lo tanto a velocidades controladas (Hart et al, 2007).

Se conocen tres propiedades del agua que regulan los cambios de temperatura en los seres vivos, a saber:

Calor específico elevado, calor de vaporización alto y calor de fusión alto.

**Calor específico elevado.** Una caloría es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar 1 °C la temperatura de 1g de agua. En comparación, otros líquidos covalentes enlazados requieren el ingreso de de la mitad de esta cantidad de energía para elevar 1 °C la temperatura. Muchos enlaces de hidrógeno que unen moléculas de agua la ayudan a absorber calor sin gran cambio en la temperatura.

Convertir 1g de agua líquida a hielo requiere la pérdida de 80 calorías de energía térmica. El agua se mantiene en su calor y su temperatura cae más lentamente que la de otros líquidos. Esta propiedad del agua no solo es importante para los organismos, sino también para todos los seres vivos. Cuando la temperatura del agua se eleva y cae lentamente, los organismos pueden mantener mejor sus temperaturas normales y son protegidos de los cambios rápidos de temperatura. (Recio del bosque, 2004)

**Calor de vaporización elevado.** Convertir 1g de agua líquida a gas requiere el ingreso de 540 calorías de energía térmica. El agua tiene alto calor de vaporización porque los enlaces de hidrógeno deben romperse antes de que hierva el agua y sus moléculas se evaporen, esto es, evaporarse en el ambiente. El alto calor de vaporización del agua da a los mamíferos en climas cálidos una manera eficaz de liberar el exceso de calor del cuerpo. Cuando un animal suda, o se salpica, el calor del cuerpo se utiliza para evaporar agua, y así refrescarlo.



**Figura 4.4** Cuando una persona suda, el calor del cuerpo se utiliza para evaporar el agua y así refrescarlo.

**Calor de fusión alto.** El agua regula los efectos de las bajas temperaturas debido a que tiene un **calor de fusión elevado**, o sea la energía que debe eliminarse de las moléculas del agua líquida antes de que se transformen en cristales de hielo. Por consiguiente, el agua, tanto en los organismos vivos como en un lago, se enfría más lentamente que otros líquidos a una temperatura dada.

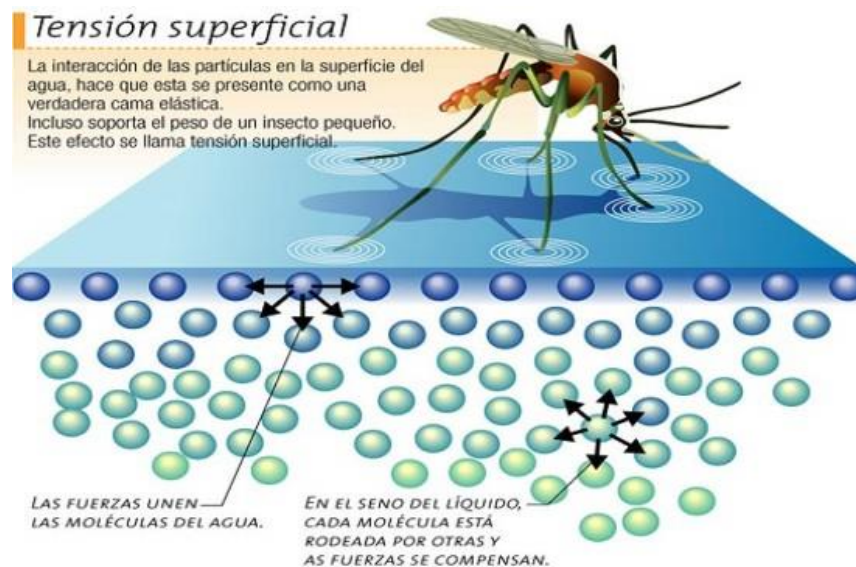


**Figura 4.5** Debido al alto calor de fusión del agua, el hielo es menos denso que el agua líquida y flota en ella.

El hielo es menos denso que el agua. Cuando el agua líquida se enfría, las moléculas se compactan. Son más densas a  $4^{\circ}\text{C}$ , pero todavía se mueven por todas partes. A temperaturas por debajo de  $4^{\circ}\text{C}$ , solo hay movimiento oscilatorio y el enlace de hidrógeno se vuelve más rígido pero también más abierto. Esto significa que el agua se expande cuando se congela, por lo que pueden estallar las latas de refresco cuando se ponen en un congelador.

Como el hielo es menos denso que el agua líquida, flota en ella. Si el hielo no flotara en el agua, se hundiría y estanques, lagos y quizá incluso el océano, se volverían sólidos, lo que haría imposible la vida en el agua y también en la tierra. En cambio, los cuerpos de agua siempre se congelan de arriba hacia abajo. Cuando un cuerpo de agua se congela sobre la superficie, el hielo actúa como aislante para impedir que el agua debajo se congele. Esto protege a los organismos acuáticos para que puedan sobrevivir en el invierno. Cuando el hielo se derrite en la primavera, atrae calor al ambiente y ayuda a prevenir un cambio súbito de temperatura que podría ser dañino para la vida (Solomon, *et al*, 2011).

**Las fuerzas de cohesión y adhesión del agua.** Al interconectar las moléculas de agua entre sí, los enlaces de hidrógeno confieren al agua una **cohesión elevada**, lo que significa que las moléculas de agua tienden a permanecer unidas. Esta cohesión permite que en la superficie de un estanque o de una laguna se produzca una **tensión superficial**, o tendencia de la superficie del agua a resistir que se rompa. Generalmente los objetos que son más densos que el agua se hunden. Sin embargo, en la superficie de un estanque las moléculas de agua están firmemente unidas entre sí, por lo cual la capa superficial parece un sólido y es capaz de soportar objetos relativamente densos como las hojas que caen o los insectos que flotan ver Figura 4.6.



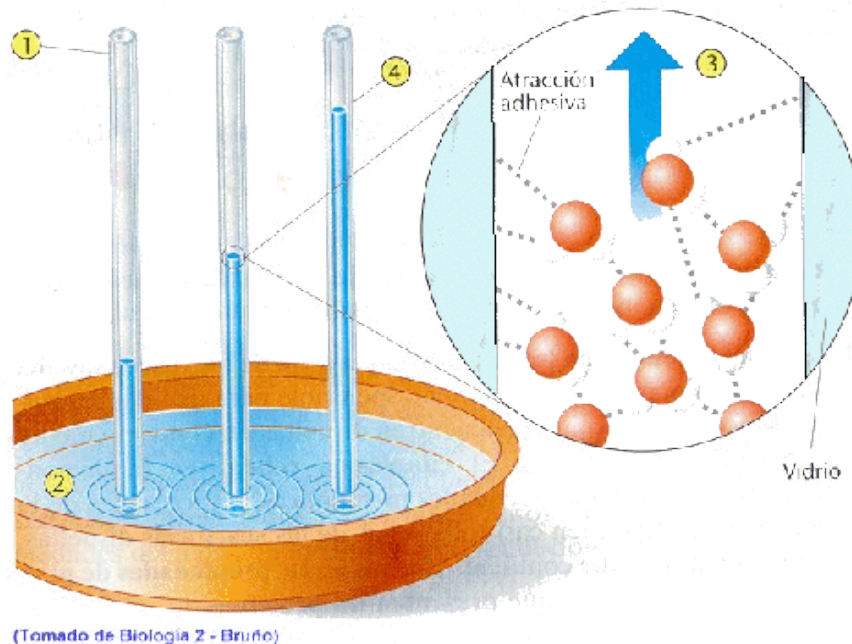
**Figura 4.6** La tensión superficial del agua permite que un insecto flote sobre un espejo de agua.

Por otra parte, las moléculas de agua poseen **adhesión** es decir, se unen a aquellas sustancias que tengan grupos de átomos o moléculas con carga en su superficie. Estas fuerzas adhesivas explican cómo el agua hace que se humedezcan los objetos.



Cohesión y adhesión permiten al agua llenar un vaso tubular. Por consiguiente, el agua es un excelente sistema de transporte, fuera y dentro de los organismos vivos. Los organismos unicelulares dependen del agua externa para transportar nutrientes y moléculas residuales, pero los organismos multicelulares a menudo contienen vasos internos en los que el agua sirve para transportar nutrientes y residuos. Por ejemplo el plasma, la porción líquida de la sangre, que transporta sustancias disueltas y suspendidas a lo largo del cuerpo, es 90% agua.

Las fuerzas de cohesión y adhesión también contribuyen al transporte de agua en las plantas. Estas tienen sus raíces fijas en el suelo, de donde absorben agua, pero las hojas se elevan y se exponen a la energía solar. ¿Cómo es posible que el agua se eleve hasta el extremo apical de árboles muy altos? La planta contiene un sistema de vasos (xilema) que alcanza desde las raíces hasta las hojas. Ver figura 4.7.



(Tomado de Biología 2 - Bruño)

**Figura 4.7** Fuerzas de cohesión y adhesión del agua. Los enlaces de hidrógeno que interconectan las moléculas de agua entre sí son los responsables de la cohesión elevada, lo que significa, que las moléculas de agua tienden a permanecer unidas.

El agua que se evapora de las hojas se reemplaza de inmediato con moléculas de agua de los vasos. Como las moléculas son cohesivas, se crea una tensión que empuja una columna de agua a través de las raíces. La adhesión del agua a las paredes de los vasos también ayuda a impedir que la columna de agua se rompa (Lozano, 2000).

### 4.3. CLASES DE BIOMOLÉCULAS SEGÚN SU FUNCIÓN

Las moléculas orgánicas comúnmente observadas dentro de las células vivas, se

pueden dividirse en varias categorías según su función en el metabolismo.

- ❖ Macromoléculas o polímeros
- ❖ Monómeros
- ❖ Metabolitos o intermediarios metabólicos
- ❖ Moléculas polifuncionales.

**Macromoléculas.** Las moléculas que forman la estructura y ejecutan las actividades de las células son moléculas grandes, altamente organizadas, llamadas **macromoléculas**, que en todos los casos contienen docenas a millones de átomos de carbono. Debido a su tamaño y a las intrincadas formas que las macromoléculas pueden adoptar, algunas de estas gigantescas moléculas pueden ejecutar tareas complejas con gran precisión y eficiencia.

Las macromoléculas se pueden dividir en cuatro categorías principales: Proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos.

Los alimentos de consumo diario como la carne y la leche (proteínas), los aceites de mesa (lípidos) el pan y la arepa (carbohidratos) contienen muchas de estas moléculas esenciales. Cuando se digieren los alimentos, se fragmentan en las subunidades moleculares o **monómeros**. El cuerpo toma estas subunidades y construye las macromoléculas que constituyen sus células. Muchos alimentos también contienen ácidos nucleicos, el tipo de molécula que forma los genes.

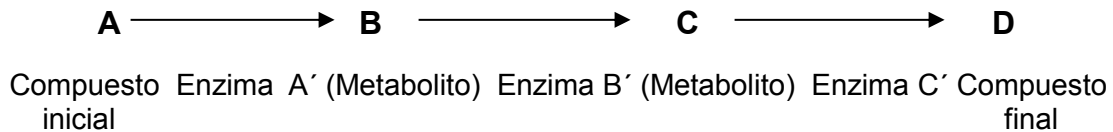
Las macromoléculas más grandes se llaman **polímeros** porque están construidas por enlaces que juntan numerosas subunidades del mismo tipo llamados **monómeros** mediante un proceso que semeja el acoplamiento de los vagones de un tren. Una proteína puede contener cientos de aminoácidos, y un ácido nucleico centenares de nucleótidos. ¿Cómo pueden volverse tan grandes los polímeros? Así como un tren aumenta su longitud cuando los vagones se encadenan uno a uno, así un polímero se vuelve más largo cuando los monómeros se enlazan entre sí. (Bailey y Bailey, 1995).

**Monómeros.** Dentro de una célula, la mayor parte de las macromoléculas tiene un periodo breve en comparación con la propia célula; con excepción de ADN celular, las macromoléculas se rompen y sustituyen continuamente por nuevas macromoléculas. En consecuencia casi todas las células contienen un depósito de precursores de bajo peso molecular listos para incorporarse a las macromoléculas y que se denominan monómeros. Estos incluyen, azúcares, precursores de polisacáridos; aminoácidos, precursores de proteínas; nucleótidos, precursores de ácidos nucleicos, y ácidos grasos que se incorporan a lípidos.

**Metabolitos o intermediarios metabólicos.** Las moléculas empleadas por una célula poseen una estructura química compleja y deben sintetizarse paso a paso



en secuencias iniciadas con materias prima específicas. Cada serie de reacciones químicas dentro de la célula se denomina **vía metabólica**. La célula convierte un compuesto A, en un compuesto B, luego en un compuesto C y así sucesivamente, hasta formar algún tipo de producto final que la propia célula puede utilizar (por ejemplo un aminoácido para producir una proteína). Los compuestos formados a lo largo de las vías metabólicas pueden generar productos que no tienen por si mismos una función y a los cuales se les denomina: **intermediarios metabólicos**.

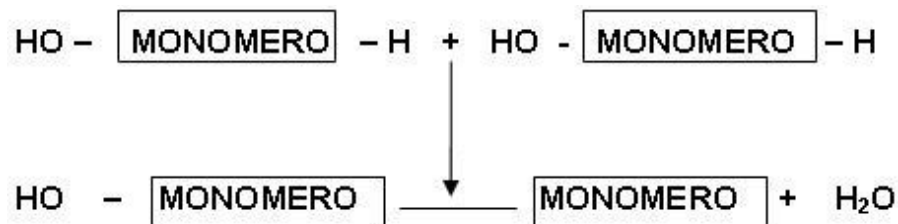


**Figura 4.8.** Diagrama de la vía metabólica de un compuesto de la célula.

**Moléculas polifuncionales.** Las moléculas de función diversa incluyen sustancias como vitaminas, cuya función primaria es la de coadyudantes de proteínas; ciertas hormonas esteroides o aminoácidos; moléculas que participan en el almacenamiento de energía como ATP o trifosfato de adenosina, moléculas reguladoras como el AMP cíclico (monofosfato de adenosina), y productos de desperdicio metabólico como la úrea (Karp, 2011).

### 4.31. Reacciones químicas predominantes

Los monómeros se unen por enlaces covalentes para formar polímeros mediante la reacción llamada **síntesis de deshidratación**, con desprendimiento de una molécula de agua. Uno de los monómeros pierde un grupo hidroxilo (**OH**) y el otro pierde un átomo de hidrógeno (**H**), que al unirse forma el agua (**HOH o H<sub>2</sub>O**) la cual es un subproducto de la reacción (Ver Figura 2.9).



**Figura 4.9.** Ilustración de la Síntesis de deshidratación de los monómeros.

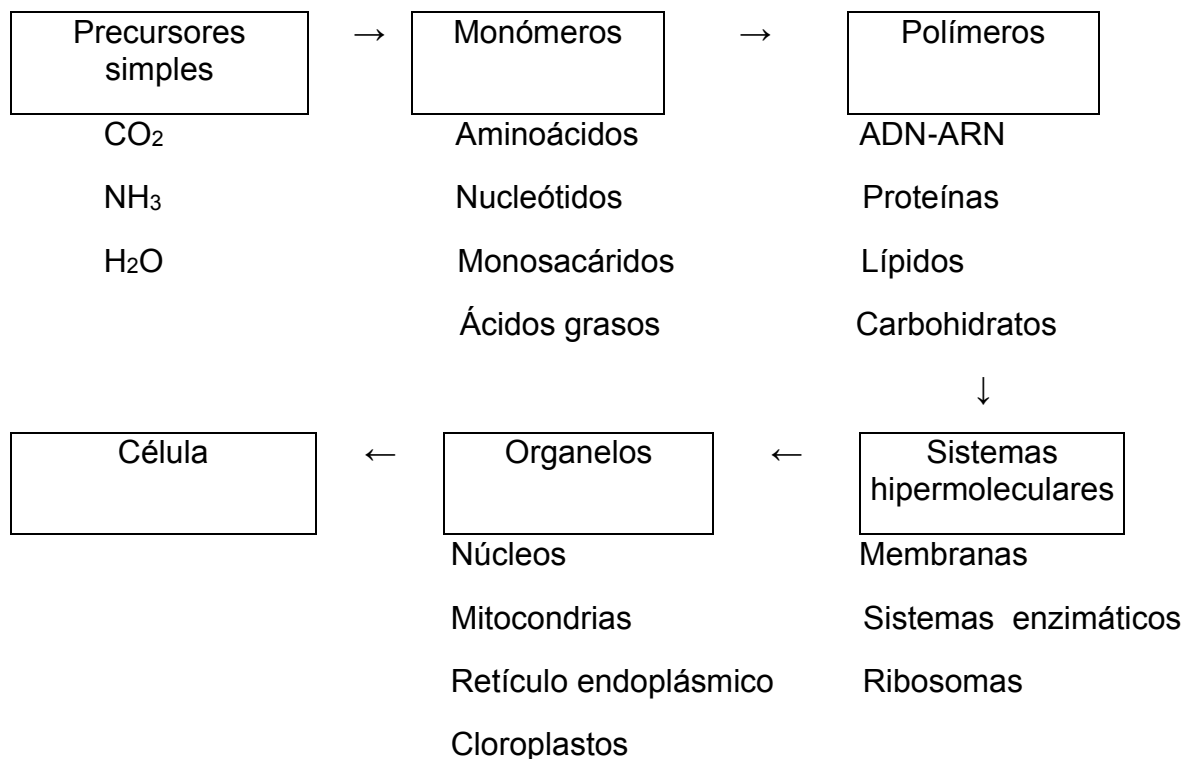
La reacción inversa, conocida como **hidrólisis**, rompe un polímero en sus respectivos monómeros. Una molécula de agua se adiciona por cada enlace covalente que se rompe. La molécula de agua se divide en sus dos componentes: el grupo hidroxilo se une a uno de los monómeros y el átomo de hidrógeno al otro. La **digestión** es un ejemplo de hidrólisis; los alimentos están constituidos

esencialmente por polímeros tales como carbohidratos y proteínas y deben ser descompuestos, mediante hidrólisis, en sus monómeros constitutivos antes de que puedan desplazarse desde el aparato digestivo hasta la sangre.

Para que estas reacciones, o cualquier otro tipo de reacción ocurran en una célula, debe estar presente una **enzima**. Una enzima es una molécula que acelera una reacción al conducir reactivos, y la enzima incluso puede participar en la reacción pero no cambia en sí misma. A menudo deben activarse los monómeros antes de que reaccionen (Ruiz, 1999).

**Biosíntesis.** Así se denomina el conjunto de procesos mediante los cuales los polímeros se sintetizan continuamente a partir de monómeros en los seres vivos. La biosíntesis tiene lugar no solamente durante el crecimiento de un organismo, cuando hay una formación neta de material celular nuevo, sino también en organismos adultos que no se encuentran en fase de crecimiento. En ellos los carbohidratos, las proteínas y los lípidos constantemente son sintetizados y degradados, de tal modo que la velocidad de formación de las nuevas moléculas está exactamente compensada por la velocidad de degradación de las antiguas.

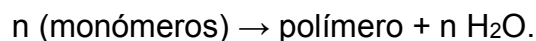
La mayor parte de los componentes moleculares de las células vivas se encuentran en ese estado estacionario dinámico (Lehninger, 2005).



**Figura 4.10.** Biosíntesis de los compuestos orgánicos.

Siempre que se construye una estructura grande ordenada a partir de unidades dispuestas al azar, bien sea una macromolécula o una pared de ladrillos, se necesita energía.

Para construir una molécula de proteína, se deben ensamblar en la secuencia correcta centenares de moléculas de aminoácidos y se deben unir con enlace peptídico por la acción de enzimas específicas. Para construir una molécula de polisacárido, tal como celulosa o almidón, han de unirse con enlace glucosídico centenares de moléculas de glucosa. La ecuación global para la biosíntesis de tales macromoléculas se pueden escribir en una forma generalizada como sigue:



Tales reacciones biosintéticas, que tienen lugar con pérdida de agua a medida que se unen las unidades estructurales, son altamente **endergónicas** en el medio acuoso de la célula; son reacciones “cuesta arriba” (Nelson y Cox, 2005).

#### 4.4 CARBOHIDRATOS.

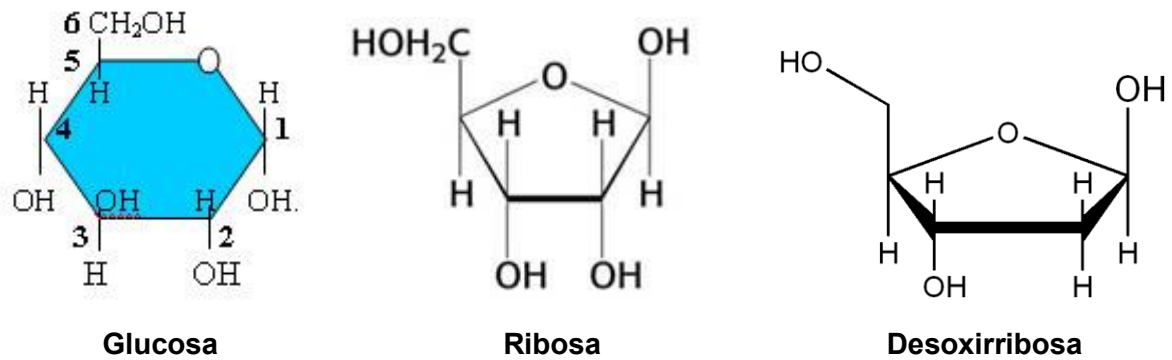
Los carbohidratos se utilizan casi universalmente como fuente inmediata de energía en los seres vivos, pero también juegan un papel estructural en una variedad de organismos. La mayor parte de los carbohidratos tienen la fórmula general  $[\text{CH}_2\text{O}]_n$ . Los valores de  $n$  para los azúcares importantes en el metabolismo celular varían de 3 a 7. Los azúcares de tres carbonos se conocen como *triosas*; los de cuatro carbonos como *tetrosas*; los de cinco carbonos como *pentosas*; los de seis como hexosas, y los de siete como *heptosas*. El término carbohidrato incluye moléculas de azúcar simples y también cadenas de azúcares. La longitud de la cadena varía de unos pocos azúcares a centenares de ellos. Por tanto, las cadenas largas se llaman polímeros (Berstein y Berstein, 1998).

**4.4.1. Monosacáridos.** Los monosacáridos [del griego *monos*, uno, y *sacchar*, azúcar] contienen una sola molécula de azúcar y se llaman azúcares simples. Cada azúcar simple puede tener un esqueleto de tres a siete carbonos.

Entre los monosacáridos más importantes de los seres vivos están la glucosa, la ribosa y la desoxirribosa.

**La glucosa**, con seis átomos de carbono, es una **hexosa** [del griego *hex*, seis] y tiene la misma fórmula molecular  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . A pesar de que la glucosa tiene varios isómeros, como fructosa y galactosa, normalmente se piensa en  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  como glucosa. Este azúcar simple es la mayor fuente de combustible celular para todos los seres vivos. Se transporta en la sangre de los animales, y es la molécula que se rompe en casi todos los tipos de organismos durante la respiración celular, con el fortalecimiento resultante de las moléculas de ATP.

**Ribosa y desoxirribosa**, con cinco átomos de carbono, son pentosas [del griego *pent*, cinco] de importancia, porque se encuentran en los ácidos nucleicos ARN y ADN, respectivamente (Brown, 2002).



**Figura 4.11.** Estructura molecular de algunos monosacáridos.

**4.4.2. Disacáridos.** Los monosacáridos se unen entre sí mediante enlaces glucosídicos covalentes para formar moléculas más grandes.

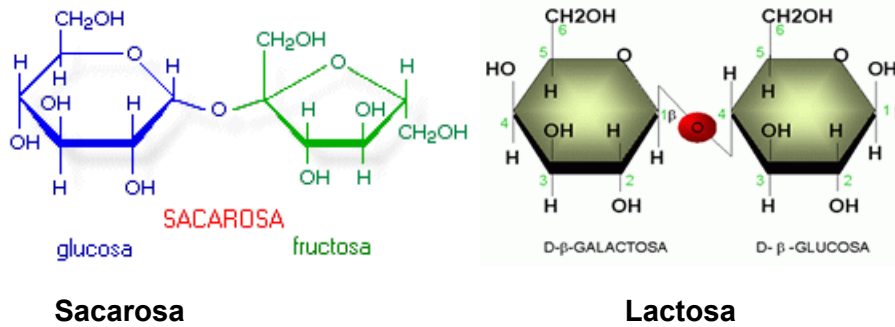
Un **disacárido** contiene dos monosacáridos que se han unido durante una reacción de deshidratación. Entre los disacáridos más abundantes en los seres vivos están la sacarosa, la lactosa y la maltosa.

**Sacarosa.** La sacarosa o azúcar de mesa es un disacárido de interés especial porque es la forma como el azúcar se transporta en las plantas. La sacarosa también es el azúcar con el que se endulzan los alimentos. El azúcar se obtiene de plantas como la caña de azúcar y la remolacha azucarera.

**Lactosa.** La lactosa es otro disacárido compuesto por glucosa y galactosa. La lactosa, presente en la leche de la mayor parte de los mamíferos, suministra a los mamíferos recién nacidos el combustible para su crecimiento y desarrollo inicial.

La lactosa de la dieta se hidroliza mediante la enzima lactasa, presente en la membrana plasmática de las células que revisten el intestino. Muchas personas pierden la enzima lactasa después de la infancia y se dan cuenta que la ingestión de productos lácteos, que contienen lactosa, les causa malestar digestivo.

**Maltosa.** La maltosa deriva su nombre de su presencia en la malta, el jugo de los brotes de la cebada germinada y otros granos de cereal. La maltosa se obtiene de la hidrólisis parcial del almidón y está formada por dos moléculas de D-glucosa unidas entre sí (Bailey y Bailey, 1995).



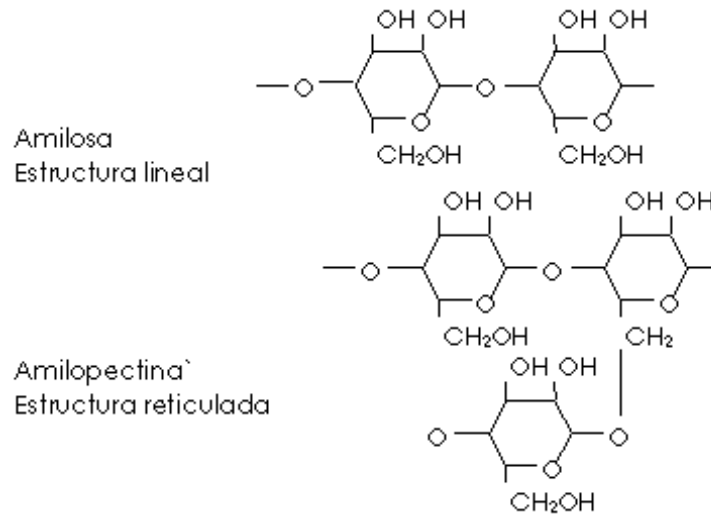
**Figura 4.12.** Estructura molecular de algunos disacáridos.

**4.4.3. Oligosacáridos.** Los azúcares también se pueden unir para formar cadenas más pequeñas llamadas **oligosacáridos** (oligo=escaso). Casi siempre estas cadenas se unen mediante enlaces covalentes a lípidos y proteínas convirtiéndolos en **glucolípidos** y **glucoproteínas**, respectivamente, compuestos importantes de la membrana plasmática donde se proyectan por encima de la superficie celular. Puesto que los oligosacáridos se componen de muchas unidades de azúcar en combinaciones diferentes, estos carbohidratos pueden desempeñar un papel informativo, o sea, pueden servir para distinguir un tipo de célula de otro y ayudar a mediar interacciones específicas de una célula con sus vecinos (Mader, 2008).

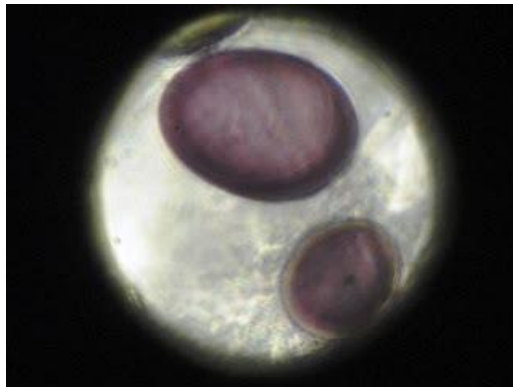
**4.4.4. Polisacáridos.** Los carbohidratos más abundantes son los polisacáridos, que son macromoléculas formadas por unidades repetidas de monosacáridos, generalmente la glucosa. A menudo hay miles de monosacáridos en una macromolécula de polisacárido. Los polisacáridos pueden ser nutricionales o estructurales.

**Polisacáridos nutricionales.** Estas macromoléculas funcionan como depósito de energía a corto plazo porque tienen una solubilidad parcial en agua y son mucho más grandes que un monosacárido. Por consiguiente, estos polisacáridos no pueden atravesar fácilmente la membrana plasmática que encierra la célula. Cuando un organismo requiere energía, el polisacárido se rompe para liberar moléculas de azúcar. La forma helicoidal de los polisacáridos muestra las ligaduras del azúcar a las enzimas hidrolíticas que puedan romperlas. Los polímeros nutricionales más importantes son el almidón y el glucógeno.

**Almidón.** La mayor parte de las plantas almacenan su excedente de energía química en forma de almidón, un polímero de la glucosa igual que el glucógeno. Las papas y los cereales (maíz, trigo, arroz), por ejemplo, contienen principalmente almidón. En realidad, el almidón es una mezcla de dos polímeros diferentes, amilosa y amilopectina. El almidón se almacena en las células vegetales en forma de plastidios denominados **amiloplastos**. Aunque los animales no sintetizan almidón, poseen una enzima (amilasa) que lo hidroliza rápidamente (Katz, 2005).



**Figura 4.13.** El almidón está formado por dos polímeros diferentes: la amilosa y la amilopectina.

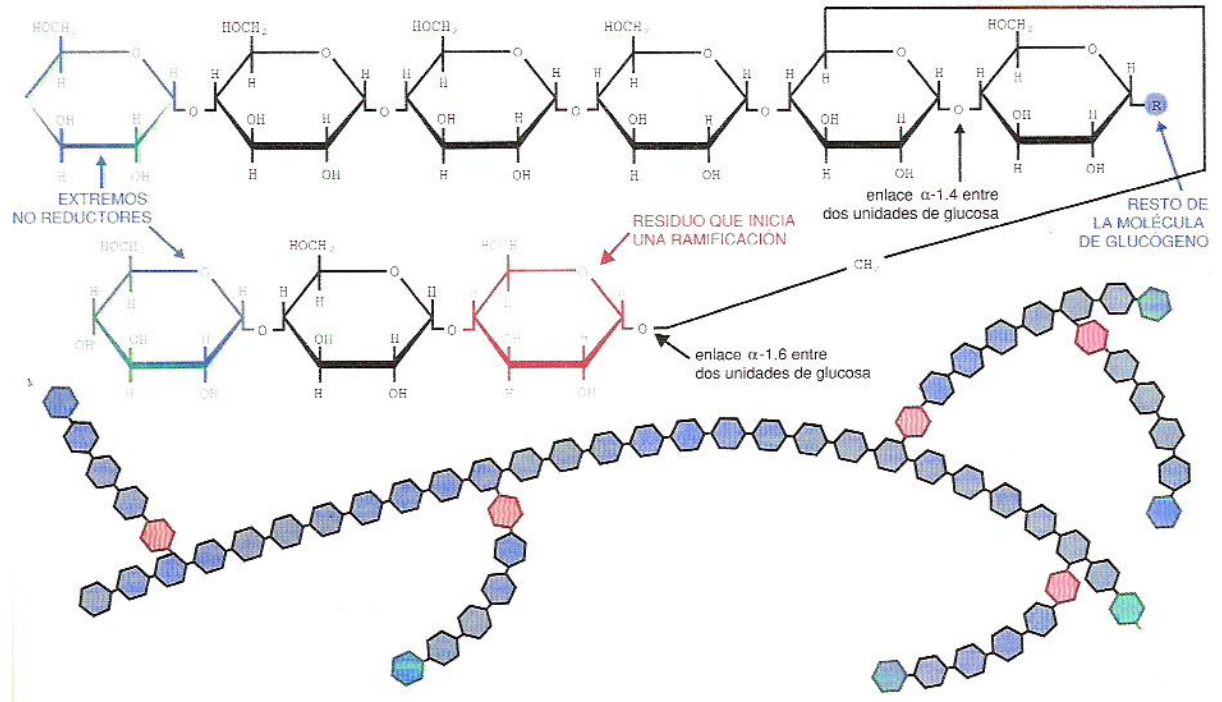


**Figura 4.14.** En las células vegetales, el almidón se almacena en los amiloplastos. Fotografía de un amiloplasto en 100x.

**Glucógeno.** El glucógeno es un polímero que sólo contiene un tipo de monómero: la glucosa. Casi todas las unidades de azúcar de una molécula de glucógeno están unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4). En la mayor parte de los animales, el glucógeno sirve como depósito del exceso de energía química; por ejemplo, el músculo esquelético del ser humano por lo general contiene suficiente glucógeno para sostener una actividad moderada durante casi 30 minutos Ver Figura 4.15.

Las células hepáticas contienen gránulos donde se almacena el glucógeno el tiempo necesario. El almacenamiento y la liberación de glucosa de las células hepáticas son controlados por hormonas. Después de comer, la liberación de la insulina del páncreas promueve el almacenamiento de glucosa como glucógeno.

El glucógeno se ramifica aun más que el almidón (Lozano, 200).



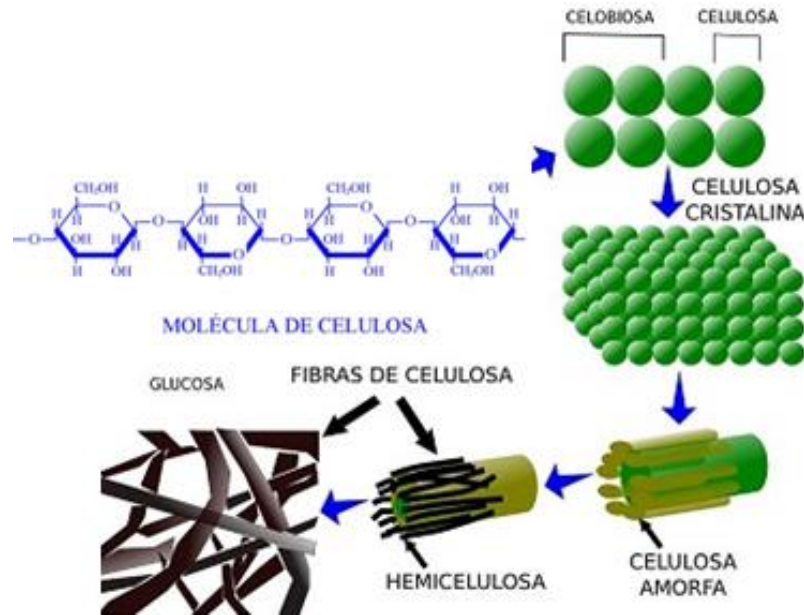
**Figura 4.15.** El glucógeno es un polímero nutricional constituido por la unión de moléculas de glucosa. Está presente en las células animales, especialmente en el hígado y en los músculos.

**Polímeros estructurales.** Estas macromoléculas forman materiales estructurales resistentes y durables. Los polisacáridos estructurales incluyen **celulosa** en las plantas, **quitina** en animales y hongos, y **peptidoglucano** en las bacterias.

**Celulosa.** Este polisacárido estructural constituye el principal componente de la pared celular de los vegetales. La celulosa es el carbohidrato más abundante, y de hecho, la molécula orgánica más abundante sobre la Tierra: más de 100 mil millones de toneladas de celulosa se producen por las plantas cada año. La madera, un producto de la celulosa de las plantas, se utiliza para la construcción, y el algodón para la tela.

Ciertos microorganismos, pero no los animales, pueden digerir los enlaces entre los monómeros de la glucosa en la celulosa. Los protozoarios en el intestino de las termitas permiten que éstas digieran la madera. En las vacas y otros rumiantes, los microorganismos rompen la celulosa en una bolsa especial antes de que el bolo alimentario regrese a la boca para masticar más y regurgitar. En los conejos, los microorganismos digieren la celulosa en una bolsa donde se empaca en bolitas o *pellets*. Para usar estas bolitas de nutrientes, los conejos tienen que volver a

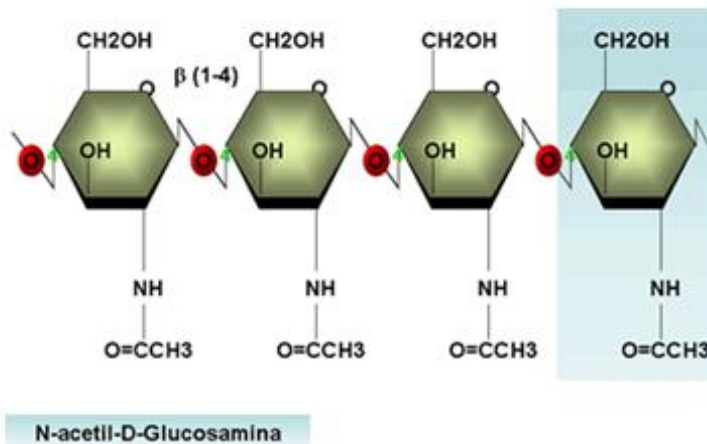
regurgitarlas en cuanto pasan al ano. Para animales que no tienen medios para digerir la celulosa, ésta es una fibra dietética que mantiene la regularidad en la defecación (Paniagua *et al*, 2011).



**Figura 4.16.** La celulosa es la molécula orgánica más abundante sobre la tierra.

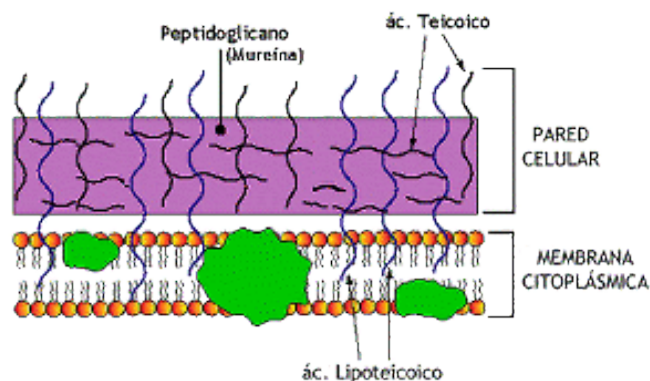
La **quitina** [del griego *chiton*, túnica] es un polímero no ramificado del azúcar N-acetilglucosamina y se encuentra en las paredes de la célula micótica y en los esqueletos de cangrejos y animales relacionados, como langostas, escorpiones e insectos. Las semillas se cubren con quitina y esto las protege del ataque de hongos. La quitina, como la celulosa, no puede ser digerida por los animales; sin embargo, los humanos han encontrado muchos otros usos para ella. Como la quitina también tiene propiedades antibacterianas y antivirales, se procesa y se usa en medicinas tanto como en vendas y material de sutura. La quitina incluso es útil durante la producción de cosméticos y diversos alimentos (Karp, 2011).





**Figura 4.17.** La quitina es un polímero estructural característica de las células fúngicas y de los esqueletos de cangrejos y animales relacionados como langostas, escorpiones e insectos

**Peptidoglucano.** La pared celular de las Eubacterias está recubierta por una capa que es la principal responsable de la resistencia de la pared. El componente común que constituye el autentico esqueleto de la pared es el peptidoglucano llamado también glucopéptido, mureína o mucopéptido. Este polisacárido está formado por dos aminoazúcares alternantes unidos por enlaces  $\beta$  (1, 4), la N-acetilglucosamina (N-A-G) y el ácido N-acetil-murámico (N-A-M) y un pequeño grupo de aminoácidos que incluyen L-alamina, D-alamina, D-glutámico o bien lisina ó ácido diaminopimnéico (DAP). (Brock y Madigan, 2011).



**Figura 4.18.** Corte transversal de la pared de una bacteria en el que se observa la posición de la capa de peptidoglucano.

#### 4.5 LIPIDOS.

Desde un punto de vista estructural, los **lípidos** son el grupo de biomoléculas más heterogéneo. Prácticamente, la única característica común que presentan todos sus componentes es la hidrofobia de toda o la mayor parte de sus moléculas. Ello

les hace insolubles en agua y solubles en solventes, como el cloroformo, la acetona o el tetracloruro de carbono. Los lípidos no se disuelven en agua porque son moléculas no polares, por lo tanto carecen de carga eléctrica. Los lípidos, al igual que los carbohidratos, están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno aunque pueden contener otros elementos, como el fósforo.

Los animales usan las grasas, un lípido muy conocido, para aislar y almacenar energía a largo plazo. Las grasas debajo de la piel de los mamíferos marinos pueden alcanzar hasta un 25% de su peso corporal en la ballena; en los humanos, la jerga común las llama "llantas". Las plantas usan aceite en vez de grasa para almacenar energía a largo plazo. Las grasas y los aceites se usan cotidianamente como alimento y para cocinar. (Paniagua et al, 2011).

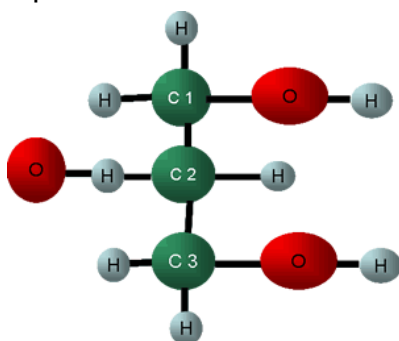
Las funciones biológicas de los lípidos son muy variadas, resultado lógico de su heterogeneidad estructural. El papel de reserva energética de un triacilglicérido en un adipocito no tiene ninguna relación con el desempeño estructural de un fosfolípido en una membrana, ni éste con la tarea endocrina de una hormona esteroide. De un modo simplificado, entre las funciones principales de los lípidos se encuentran:

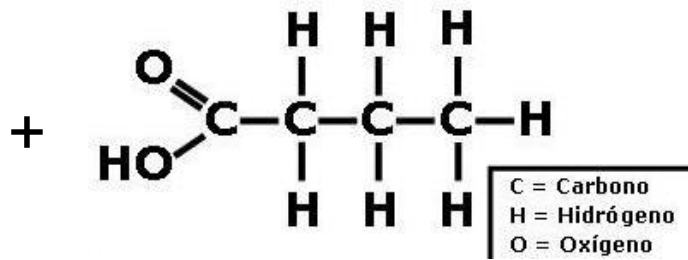
- ❖ Reserva energética.
- ❖ Componente de membranas y aislantes. La capa de grasa situada inmediatamente por debajo a la piel sirve para aislar el cuerpo de las bajas temperaturas.
- ❖ Lubricantes protectores.
- ❖ Reguladores hormonales.
- ❖ Emulsionantes digestivos.
- ❖ Reguladores del metabolismo celular y de funciones celulares específicas.

**Clasificación:** La clasificación de los lípidos ofrece dificultades, y no existe una sola clasificación al estilo de las propuestas para otros grupos de biomoléculas. En esta unidad, solo se estudian los lípidos de mayor importancia biológica: acilglicerol, fosfolípidos, esteroides, carotenoides y ceras.

#### 4.5.1 Acil-glicéridos o Acil-glicerol

Estas moléculas (denominadas también "grasas neutras") constituyen los lípidos más abundantes en los seres vivos. Estos compuestos son fuentes concentradas de energía ya que liberan el doble de energía por gramo (9 cal) en comparación con los carbohidratos 3 ó 4 cal. Ciertas enzimas transforman los carbohidratos y proteínas en grasas, después de lo cual se almacenan en el tejido adiposo. El patrón más común de la estructura de los acilglicerol es una molécula de glicerol unida a una o dos o tres cadenas de ácidos grasos, por lo que se consideran ésteres del glicerol con ácidos grasos (Lozano, 2000).





Glicerol

Ácido butírico

**Figura 2.19.** Los acilgliceridos o acilgliceroles tienen como patrón común una molécula de glicerol unida a una ó dos, ó tres cadenas de ácidos grasos.

El **glicerol** (propanotriol) es un compuesto con tres grupos –OH polares; por consiguiente, el glicerol es soluble en agua. Cuando se forma una grasa o aceite, las porciones ácidas de tres ácidos grasos reaccionan con los grupos –OH del glicerol durante una reacción de deshidratación. Además de una molécula grasa, resultan tres moléculas de agua. Las grasas y los aceites se degradan siguiendo una reacción de hidrólisis.

Los **ácidos grasos** son hidrocarburos de cadena larga no ramificada con un solo grupo carboxilo en un extremo. Puesto que los dos extremos de la molécula de un ácido graso tienen estructura muy diferente, también tienen propiedades diferentes. La cadena del hidrocarburo es hidrofóbica, en tanto que el grupo carboxilo (–COOH) que posee una carga negativa a pH fisiológico es hidrofílica. Las moléculas que tienen regiones hidrofóbicas e hidrofílicas se denominan **anfipáticas**; estas moléculas tienen propiedades biológicas importantes poco comunes. (Hart et al, 2007).

Las propiedades de los ácidos grasos se pueden apreciar considerando el empleo de un producto familiar, el jabón, que contiene ácidos grasos. Los jabones deben su gran capacidad para disolver grasas al hecho de que el extremo hidrofóbico de cada ácido graso puede integrarse a la grasa, en tanto que el extremo hidrofílico puede interactuar con el agua que lo rodea. Como resultado, los materiales grasos se convierten en complejos (micelas) dispersables por el agua (Bailey y Bailey, 1995).

Los ácidos grasos difieren entre sí en la longitud de su cadena hidrocarbonada y la presencia o ausencia de dobles enlaces. En condiciones típicas, los ácidos grasos presentes en las células tienen una longitud que varía de 14 a 20 carbonos. Los ácidos grasos que carecen de dobles enlaces, como el ácido esteárico se denominan **saturados**; los que poseen dobles enlaces son **no saturados ó insaturados**. Que las unidades para construir el ácido graso sean saturadas o no

saturadas y el grado de saturación (número de dobles enlaces) tienen consecuencias importantes.

La abundancia de dobles enlaces en las grasas vegetales explica su estado líquido, tanto dentro de las células vegetales como en los envases con la etiqueta de “poliinsaturadas”. Las grasas líquidas a temperatura ambiente se denominan **aceites**. Grasas sólidas como la margarina, están formadas por aceites vegetales insaturados mediante la reducción química de los dobles enlaces por átomos de hidrógeno (proceso denominado hidrogenación). Una molécula de grasa puede contener tres ácidos grasos idénticos, o puede ser una *grasa mixta* que contiene más de una especie de ácido graso. La mayor parte de las grasas naturales, como el aceite de oliva o la mantequilla, son mezclas de moléculas que poseen diferentes especies de ácidos grasos.

Las grasas son muy ricas en energía química; un gramo de grasa contiene el doble de la energía de un gramo de carbohidrato. Los carbohidratos funcionan principalmente como fuente de energía rápidamente disponible a corto plazo, en tanto que las reservas de grasa almacenan energía a largo plazo. Se estima que una persona de estatura promedio contiene cerca de 0.5 kg de carbohidratos, principalmente en forma de glucógeno. Esta cantidad de carbohidratos suministra unas 2000 kcal de energía total. En el curso de un día de ejercicio extenuante una persona puede agotar casi toda la reserva de carbohidratos de su cuerpo. Por el contrario, la persona promedio contiene cerca de 16 kg de grasa (equivalente a 144000 kcal de energía), y puede tomar mucho tiempo agotar la reserva de este material. (Morrison y Boyd, 1976).

### Ácidos Grasos Saturados

Nombre común	Origen	Fórmula
Fórmico	Hormigas	H-COOH
Acético	Vinagre	CH <sub>3</sub> -COOH
Propiónico		CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> COOH
Butírico	Mantequilla	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH
Valérico		CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH
Caproico	Cabra	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH
Caprílico	Cabra	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH
Cáprico	Cabra	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH
Láurico	Laurel	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH
Mirístico	Nuez	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COOH
Palmitico	Aceite de palma	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH
Estearico	Sebo	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH
Araquídico	Maní	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> COOH
Lignocérico		CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>22</sub> COOH

### Ácidos Grasos Insaturados

Palmitoleico	Aceite de palma	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> - CH =CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Oleico	Olivo	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH =CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Linoleico	Lino	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> CH=CH) <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Linolénico	Lino	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> CH=CH) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Araquidónico	Maní	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> CH=CH) <sub>4</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH

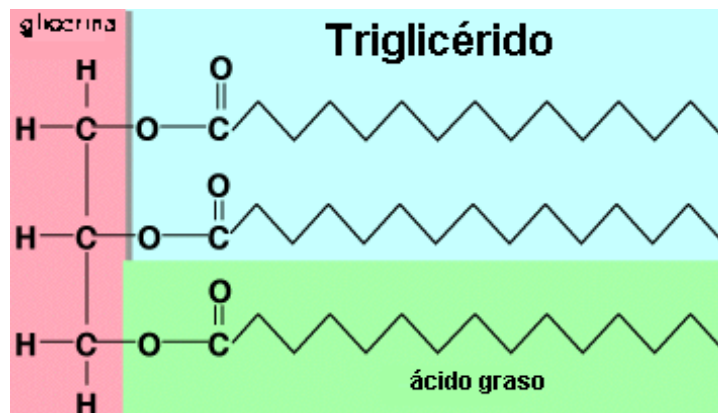
**Tabla 4.2** Ácidos grasos más frecuentes en la naturaleza.

Puesto que las grasas carecen de grupos polares, son sumamente insolubles en agua y se almacenan en las células en forma de gotas de lípidos secos. Como las gotas de lípidos no contienen agua como los gránulos de glucosa, representan un almacén de combustible muy concentrado. En muchos animales, las grasas se almacenan en células especiales (*adipocitos*) cuyo citoplasma se llena con una sola gota de grasa. Los adipocitos muestran una notable capacidad para cambiar de volumen y adaptarse a cantidades variables de grasa.

Los acil-glicerolés pueden ser: **monoacilglicerolés (MAG)**, en los que la molécula de glicerol (propanotriol) tiene un solo grupo alcohol esterificado; los **diacilglicerolés (DAG)**, si tienen esterificados dos grupos alcohol o **triacilglicerolés (TAG)**, cuando tiene esterificados los tres grupos alcohol. Los más abundantes en el cuerpo humano son los triacilglicerolés, comúnmente denominados **triglicéridos**.

Los mono y diacilgliceroles se encuentran en pequeña proporción ya que aparecen, generalmente, como metabolitos secundarios de los lípidos que contienen glicerol (Recio del Bosque, 2004).

**Triglicéridos.** Las grasas animales y los aceites vegetales, que son los lípidos más abundantes en la naturaleza, son triésteres de glicerol y ácidos carboxílicos de cadena larga y también se denominan **triglicéridos** o **triacilgliceroles**. La hidrólisis de un triglicérido con base acuosa seguida de una acidificación, forma glicerol y tres ácidos grasos.



**Figura 4.20.** Estructura de los triglicéridos. Estos compuestos son los lípidos más abundantes en la naturaleza.

Hay dos tipos de triglicéridos: **triglicéridos simples**, en los cuales los tres ácidos grasos son idénticos, y **triglicéridos mixtos**.

En general, una grasa o aceite en particular no sólo consiste en un triglicérido sencillo, sino que es una mezcla compleja de triglicéridos. Por esta razón la composición de una grasa o de un aceite generalmente se expresa en términos de porcentaje de los diferentes ácidos que se obtienen por saponificación (Bernstein y Bernstein, 1998).

Algunas grasas y aceites producen principalmente uno o dos ácidos y una menor cantidad de otros. Por ejemplo, el aceite de oliva produce un 83% de ácido oleico. El aceite de palma produce un 43% de ácido palmítico, un 43% de ácido oleico y menores cantidades de ácido esteárico y ácido linoleico. Por otra parte, la grasa de la mantequilla produce, por hidrólisis, 14 ácidos grasos diferentes y, como algo excepcional, alrededor del 9% de dichos ácidos contiene menos de 10 átomos de carbono.

Algunos TAG son sólidos (grasas) mientras que otros son líquidos (aceites) debido a sus componentes. Los aceites contienen un porcentaje mucho mayor de ácidos grasos insaturados que las grasas. Por ejemplo, la mayoría de los aceites

vegetales (como el aceite de maíz y el de soya) producen por hidrólisis, alrededor de un 80% de ácidos insaturados. En las grasas (como el sebo de res) la cantidad es mucho menor, solamente algo superior al 50%.

Aunque por lo general, las grasas provienen de fuentes animales y los aceites de fuentes vegetales, esto no siempre es así. Por ejemplo los aceites de sardina e hígado de bacalao contienen un 77% y un 84%, respectivamente, de ácidos grasos insaturados. Asimismo, no todas las grasas provienen de fuentes animales. La manteca de cacao con una composición de ácidos grasos de un 24% de ácido palmítico y un 35% de ácido esteárico, es sólida a temperatura ambiente.

Existe cierta relación entre la composición de los TAG y su origen. Las plantas y los animales de sangre fría tienen TAG más ricos en ácidos grasos insaturados que los animales de sangre caliente, a fin de comunicar cierta fluidez a sus tejidos. En los seres humanos, los TAG subcutáneos son más líquidos que los protectores que recubren las vísceras. Los TAG pueden hidrolizarse, bien por lipasas o bien químicamente por álcalis, para dar lugar a sus constituyentes. La reacción se llama saponificación y es contraria a la esterificación. En ella se forman jabones, que son sales de los ácidos grasos que se liberan al saponificarse las grasas (Lozano, 2000).

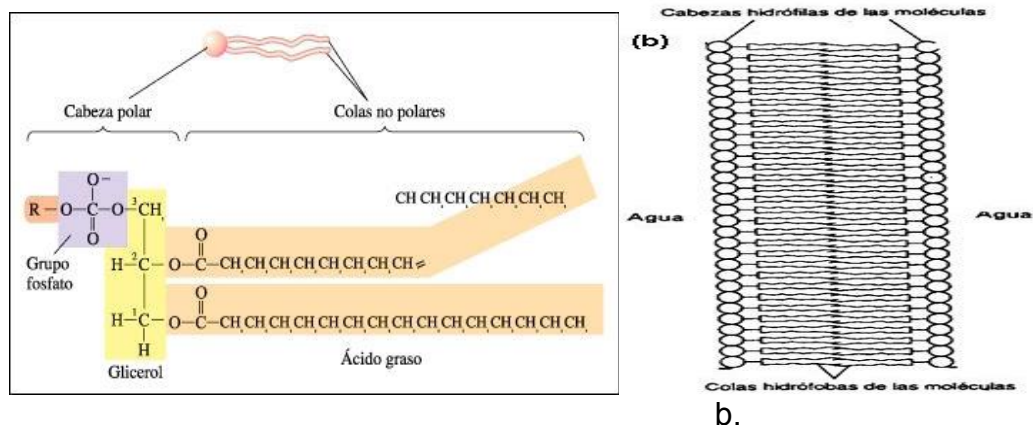
#### 4.5.2 Fosfolípidos

Los fosfolípidos, o fosfoacilgliceroles como se llaman de manera correcta, son el segundo grupo de lípidos más abundantes en la naturaleza y se encuentran de manera casi exclusiva en las membranas de las células vegetales y animales, las cuales generalmente constan de 40 a 50% de fosfolípidos y de 50 a 60% de proteínas. Los fosfolípidos más abundantes se derivan del **ácido fosfatídico**. (Brown, 2002).

Los ácidos grasos más comunes en los ácidos fosfatídicos son el palmítico, el esteárico (ambos totalmente saturados) y el oleico (que tiene un doble enlace en su cadena de hidrocarburo). La esterificación posterior de un ácido fosfatídico con un alcohol de bajo peso molecular, forma un fosfolípido. Un fosfolípido tiene una estructura similar a la de un acil glicerol solo que uno de sus ácidos grasos se reemplaza por un ion fosfato (**PO<sub>4</sub>**) y un compuesto orgánico (**R**) que suele ser una sustancia nitrogenada.

La molécula de fosfolípido no es común porque posee en un extremo el fosfato y el grupo R cargados eléctricamente y, por lo tanto, hidrosolubles, mientras que los dos ácidos grasos no poseen ninguna carga y son insolubles en agua. Así, un extremo de la molécula de fosfolípido, “la cabeza” de fosfato es **hidrófila** o atraída por el agua y el otro extremo, “la cola” de ácidos grasos, es **hidrófoba** o que rechaza el agua. Esto le proporciona un fuerte carácter anfipático.





a. **Figura 4.21** Estructura de los Fosfolípidos a) Modelo de la bicapa lipídica, b) Orientación de los fosfolípidos en la membrana plasmática.

Debido a estas propiedades, las moléculas de fosfolípidos adquieren una particular configuración en presencia de agua, de modo que su “cabeza hidrófila” o hidrosoluble queda orientada hacia el agua circundante, en tanto que la “cola hidrófoba” se orienta en dirección opuesta. Ellos los hace especialmente diseñados para formar la **bicapa lipídica** que constituye las membranas biológicas, tanto plasmática como las que delimitan los diferentes organelos subcelulares. (Ver figura 2.20).

### 4.5.3. Esteroides

Son lípidos que tienen estructuras completamente diferentes de los de las grasas. Las moléculas del esteroide tienen esqueletos de cuatro anillos de carbono fusionado. Cada tipo de esteroide difiere principalmente por los tipos de grupos funcionales unidos al esqueleto de carbono. El colesterol es un componente esencial de la membrana plasmática de una célula animal, que brinda estabilidad física. Es el precursor de otros esteroides, como el estrógeno de las hormonas sexuales y la testosterona. La hormona sexual masculina, la testosterona, se forma sobre todo en los testículos, y la hormona sexual femenina, el estrógeno, se forma principalmente en los ovarios. La testosterona y el estrógeno sólo difieren por los grupos funcionales unidos al mismo esqueleto de carbono, y sin embargo, cada uno tiene su propio y profundo efecto en el cuerpo y la sexualidad de un animal.

Se sabe que una dieta alta en grasas saturadas y colesterol puede contribuir a trastornos circulatorios. Cuando el material graso se acumula en la superficie interior de los vasos sanguíneos, el flujo de sangre se reduce y origina la presión arterial alta. (Mader, 2008).

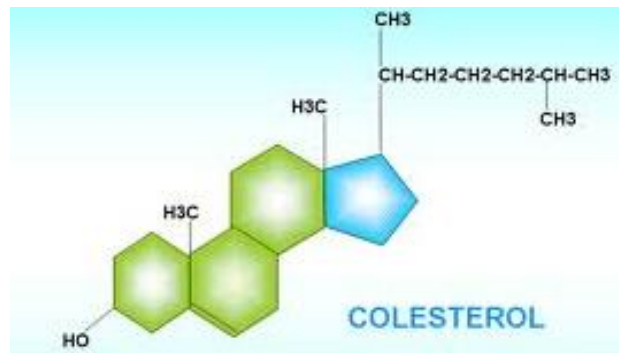
El colesterol es un sólido seroso, insoluble en agua y de color blanco que se encuentra en el plasma sanguíneo y en todos los tejidos animales, pero se



concentra en mayor cantidad en el cerebro y la médula espinal. También es el principal constituyente de los cálculos biliares. (Brown, 2002).

Esta sustancia forma parte integral del metabolismo humano de dos maneras:

- 1) Es un componente esencial de las membranas biológicas. El cuerpo de un adulto saludable contiene aproximadamente 140g de colesterol, de los cuales alrededor de 120g están presentes en las membranas. Por ejemplo las membranas del sistema nervioso central y periférico contienen aproximadamente 10% en peso de colesterol.
- 2) Es el compuesto a partir del cual se sintetizan las hormonas sexuales, las hormonas adrenocorticoideas, la vitamina D y los ácidos biliares. Por lo tanto, en cierto sentido, el colesterol es un esteroide del cual se derivan muchos compuestos.



**Figura 4.22.** Estructura del colesterol. Un esteroide presente en las células animales.

El colesterol es insoluble en el plasma sanguíneo, pero puede transportarse en él como un complejo soluble que se forma entre el colesterol y las proteínas llamadas lipoproteínas. Ver Figura 4.22.

Las lipoproteínas de baja densidad (LDL) transportan el colesterol desde el sitio en que es sintetizado en el hígado, hasta diversos tejidos y células del organismo, donde se emplea posteriormente. El colesterol unido a LDL es el que se acumula en los vasos sanguíneos formando depósitos que causan la arteriosclerosis, por lo que se conoce como el “colesterol malo”. Es deseable que el nivel del colesterol malo se mantenga por debajo de los 200 mg/dl y cuando su nivel sobrepasa los 280 mg/dl puede constituir grave riesgo para la persona.

Las lipoproteínas de alta densidad (HDL) transportan el exceso de colesterol y el que no es utilizado por las células, de regreso al hígado para su transformación hasta ácidos biliares y su posterior excreción a través de las heces. Se cree que el HDL retrasa o reduce la formación de depósitos antes mencionados, por lo que se dice que es el “colesterol bueno” (Solomon *et al*, 2011).

**Hormonas esteroides.** Algunos esteroides son hormonas sexuales. Las hormonas segregadas en las gónadas (ovarios en la mujer y testículos en el hombre) son esteroides. Las hormonas son compuestos que controlan la fisiología de la reproducción, así como las características sexuales secundarias.

Las hormonas sexuales femeninas que predominan pueden ser de dos tipos. Los **estrógenos**, de los cuales el más abundante es el **estradiol**, son esenciales para iniciar los cambios durante el ciclo menstrual y para el desarrollo de las características sexuales femeninas secundarias. La **progesterona**, que prepara el útero para la implantación del óvulo fecundado, también mantiene el embarazo y evita que se siga ovulando durante este periodo. La progesterona se administra clínicamente para evitar el aborto en el caso de embarazos difíciles (Hart *et al*, 2007).

Los anticonceptivos orales, generalmente conocidos como “la píldora”, tienen estructuras semejantes a la de una progesterona. Un ejemplo es el alcohol acetilénico **noretindrona**, que evita el embarazo. Por otra parte, **RU 486**, que también se parece a la progesterona, es un producto contra la gestación. Interfiere con la gestación de un óvulo fecundado y, si se toma junto a las prostaglandinas, termina con el embarazo; es más efectivo y más seguro durante las primeras 9 semanas de la gestación que las intervenciones quirúrgicas.

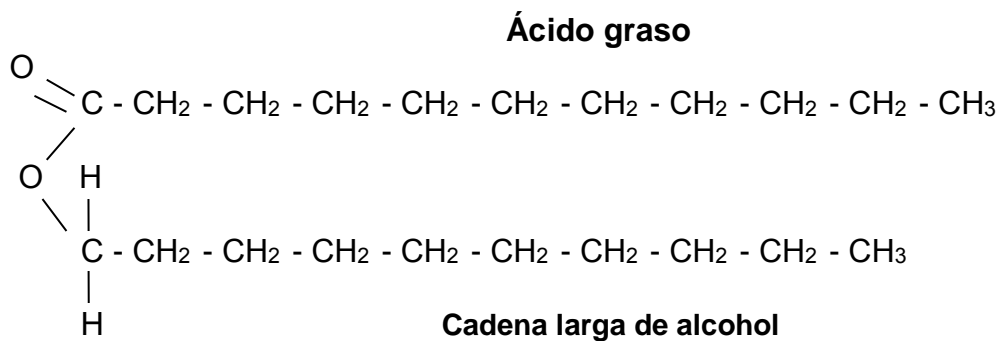
Las hormonas sexuales masculinas predominantes reciben el nombre de **andrógenos**. Regulan el desarrollo de los órganos reproductores masculinos, así como las características sexuales masculinas secundarias, como es la aparición de vello facial y corporal, el cambio de voz y la musculatura. La testosterona y la androsterona son dos andrógenos muy importantes. Sin embargo, la testosterona aunque produce los efectos mencionados no es activa cuando se toma por vía oral porque se metaboliza en el hígado a un esteroide inactivo.

Se han desarrollado diversos **esteroides anabólicos** oral es para su uso en medicina de rehabilitación, en particular, cuando ocurre atrofia muscular durante la recuperación de una lesión. Entre los esteroides anabólicos sintéticos más ampliamente prescritos para este fin se encuentra la metandrostenolona y el estanozolol. Entre ciertos atletas, es frecuente el mal uso de los esteroides anabólicos para incrementar la masa muscular y la fuerza, en particular en quienes participan en deportes de alto rendimiento. Los riesgos que se relacionan con el abuso de esteroides anabólicos para este fin son considerables: aumento de la agresividad, esterilidad, difusión eréctil y riesgo de muerte prematura por complicaciones como diabetes, enfermedad coronaria y cáncer hepático (Nelson y Cox, 2005).

**Sales biliares.** También están presentes los esteroides en las sales biliares que forman parte de la bilis (mezcla compleja de esteroides, agua, y otras sales). Las sales biliares se sintetizan en el hígado y se almacenan y concentran en la

vesícula biliar. Junto con los jugos pancreáticos vertidos al duodeno permiten la emulsión y absorción de los lípidos en el tracto intestinal. Además, las sales biliares son productos finales del metabolismo del colesterol y, en consecuencia, constituyen una vía importante para la eliminación de esta sustancia del organismo.

**4.5.4. Ceras.** En las ceras, las cadenas largas de ácidos grasos se enlazan con cadenas largas de alcoholes:



**Figura 4.23.** Estructura molecular de las ceras.

Las ceras son sólidas a temperaturas normales porque tienen un punto de fusión alto. Siendo hidrofóbicas, también son impermeables y resistentes a la degradación. En muchas plantas, las ceras, junto con otras moléculas, forman una **cutícula** protectora (cubierta) que retarda la pérdida de agua para todas las partes expuestas. En muchos animales, las ceras se hallan en la piel para su conservación. En los humanos son producidas por las glándulas del conducto exterior del oído. La cerilla contiene cerumen, un compuesto orgánico que repele a los insectos más pequeños y en algunos casos incluso los mata. También atrapa polvo y suciedad y les impide alcanzar el tímpano.

Una abeja melífera produce cera en las glándulas sobre la parte inferior de su abdomen. Las abejas utilizan la cera para formar los seis lados del panal donde se almacena la miel, la cual contiene fructosa y glucosa, productos del desdoblamiento de la sacarosa.

Los humanos han encontrado una infinidad de usos para las ceras, desde velas hasta pulidores de automóviles, mobiliario y suelos (Mader, 2008).

**4.5.5 Carotenoides.** Los carotenoides incluyen un grupo de pigmentos que absorben la luz de determinada longitud de onda y están presentes en plantas y animales. La molécula de un carotenoide está formada por cinco monómeros conocidos como **unidades de isopreno**. El  $\beta$ -caroteno es uno de los pigmentos que atrapa la energía lumínica en las hojas durante la fotosíntesis. En los

humanos, el  $\beta$ -caroteno se incorpora en la dieta y puede romperse en dos unidades de **retinol**, molécula precursora de la vitamina A, sustancia necesaria para la correcta visión. Los carotenos son pigmentos responsables del color de las zanahorias, tomates, patillas, yemas de huevo y mantequilla (Hart *et al*, 2007).

#### 4.6. PROTEÍNAS.

Las proteínas [del griego *proteios*, primer lugar], como su derivación griega implica, son de importancia primaria para la estructura y funcionamiento de las células. Casi 50% del peso seco de la mayor parte de las células consisten en proteínas. En la actualidad se han identificado más de 100 mil proteínas. Aquí se presentan algunas de sus muchas funciones:

**De sostén.** Algunas proteínas son estructurales, como la queratina que constituye pelo y uñas, y el colágeno, que brinda apoyo a ligamentos, tendones y piel.

**Enzimáticas.** Las enzimas mantienen a los reactivos juntos y por tanto aceleran las reacciones químicas en las células. Son específicas para un tipo particular de reacción y pueden funcionar a temperatura corporal.

**De transporte.** Las proteínas portadoras y de los canales de la membrana plasmática permiten a las sustancias entrar y salir de las células. Algunas otras proteínas transportan moléculas en la sangre de los animales; la **hemoglobina** es una proteína compleja que transporta oxígeno.

**Defensivas.** Los anticuerpos son proteínas. Se combinan con sustancias ajenas al cuerpo, llamadas **antígenos**. De esta manera impiden a los antígenos destruir células y trastornar la homeostasis.

**Hormonales.** Las hormonas son proteínas reguladoras. Sirven como mensajeros intercelulares que influyen en el metabolismo de las células. La hormona **insulina** regula el volumen de la glucosa en la sangre y en las células; la presencia de la hormona del crecimiento determina la estatura de un individuo.

**Motrices.** Las proteínas contráctiles actina y miosina permiten a partes de las células moverse y ocasionan la contracción muscular. La contracción del músculo explica el movimiento de los animales de un lugar a otro.

Las estructuras y funciones de las células y tejidos de vertebrados difieren según el tipo de proteína que contengan. Por ejemplo, las células musculares contienen actina y miosina; los glóbulos rojos, hemoglobina, y los tejidos de apoyo, colágeno (Cooper y Hausman, 2011).

##### 4.6.1. Aminoácidos: unidades estructurales

Las proteínas son polímeros formados por monómeros: los aminoácidos. Cada proteína tiene una secuencia única de aminoácidos que confiere a la molécula sus propiedades únicas. Gran parte de las propiedades de una proteína se pueden extender examinando las propiedades químicas de los aminoácidos que las constituyen. En las proteínas se encuentran comúnmente 20 aminoácidos diferentes, sean proteínas de un virus o de un ser humano.

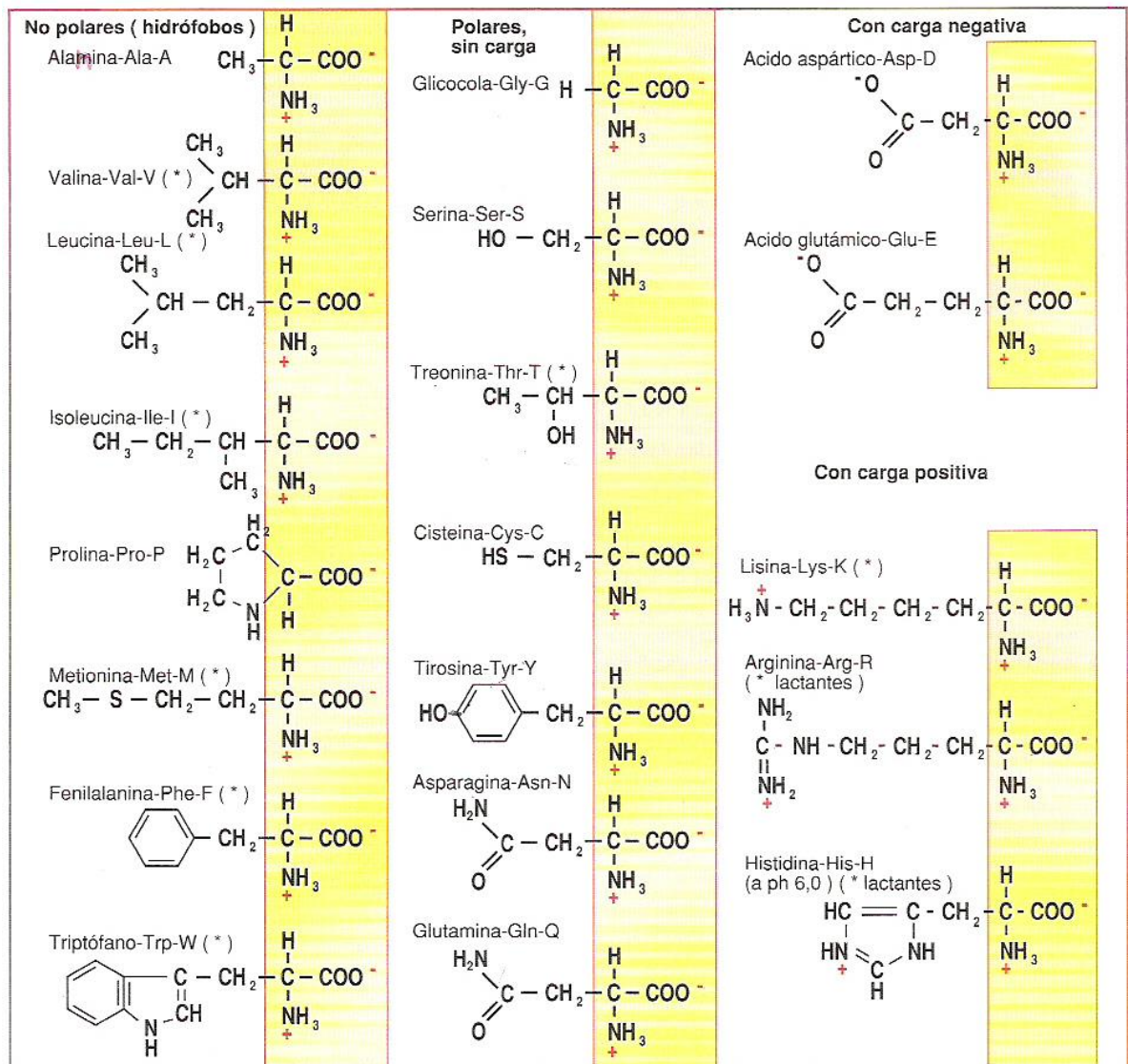


Figura 4.24. Aminoácidos más comunes de las proteínas.

El átomo de carbono  $\alpha$  de un **aminoácido** enlaza a un átomo de hidrógeno y también a otros tres grupos de átomos. El nombre de la molécula aminoácido es apropiado porque uno de estos grupos es un  $-\text{NH}_2$  (grupo amino) y otro es un  $-\text{COOH}$  (grupo ácido o carboxilo). El tercer grupo se llama grupo *R* porque es el Resto de la molécula. Los aminoácidos difieren según su grupo particular *R*. Los grupos *R* varían en complejidad, desde un solo átomo de hidrógeno hasta un

complicado anillo compuesto (Petsko y Ringe, 2003).

Las únicas propiedades químicas de un aminoácido dependen de las del grupo *R*. Por ejemplo, algunos grupos *R* son polares y otros no lo son. En la figura 3.16 se muestran los 20 diferentes aminoácidos encontrados normalmente en las células. Muchas proteínas contienen otras sustancias además de aminoácidos; éstas se denominan **proteínas conjugadas**. Las proteínas conjugadas incluyen las unidas mediante enlaces covalentes o no covalentes a los ácidos nucleicos, las *nucleoproteínas*; a lípidos, las *lipoproteínas*; a carbohidratos, las *glucoproteínas*; o a diferentes materiales de bajo peso molecular, incluyendo metales y grupos que contienen metales.

**Aminoácidos esenciales.** Un ser vivo necesita una provisión constante de aminoácidos para formar proteínas propias. En los organismos heterótrofos la mayoría de los aminoácidos pueden ser sintetizados por el propio organismo a partir de otras biomoléculas. Otros aminoácidos, en cambio, tienen que ser incorporados en la alimentación diaria y se conocen como **aminoácidos esenciales**. Las principales fuentes de estos aminoácidos esenciales son la carne, la leche y derivados, huevos y los granos tanto los que provienen de poáceas como trigo, cebada, avena, maíz, sorgo, etc. como los que se obtienen de las fabáceas como soya, frijoles, garbanzos, lentejas, habas y arvejas.

Las rutas bioquímicas de los aminoácidos requieren un estrecho control metabólico de tal manera que no se presente exceso en la producción de ninguno de ellos. En la Tabla 2.3 se presenta una lista de los aminoácidos esenciales y no esenciales en humanos. (Katz *et al*, 2005).

**4.6.2 Polipéptidos.** Durante el proceso de síntesis de proteínas, cada aminoácido se une a otros dos aminoácidos formando un polímero largo, continuo, no ramificado, denominado **cadena de polipéptidos**. Los aminoácidos que componen una cadena de polipéptidos se juntan por **enlaces peptídicos** como resultado de la unión del grupo carboxilo de un aminoácido con el grupo amino de su vecino, eliminando una molécula de agua (Ver Figura 4.25).

Un **péptido** consiste en dos o más aminoácidos enlazados y un **polipéptido** es una cadena de muchos aminoácidos unidos por enlaces péptidos. Una proteína puede contener más de una cadena de polipéptidos; por consiguiente, puede verse por qué una proteína pudiera tener un número muy grande de aminoácidos. Cada polipéptido tiene su propia secuencia normal, que influye en la forma tridimensional final de la proteína. Las proteínas con secuencia anormal se deforman y no pueden funcionar de forma adecuada (Brown, 2002).

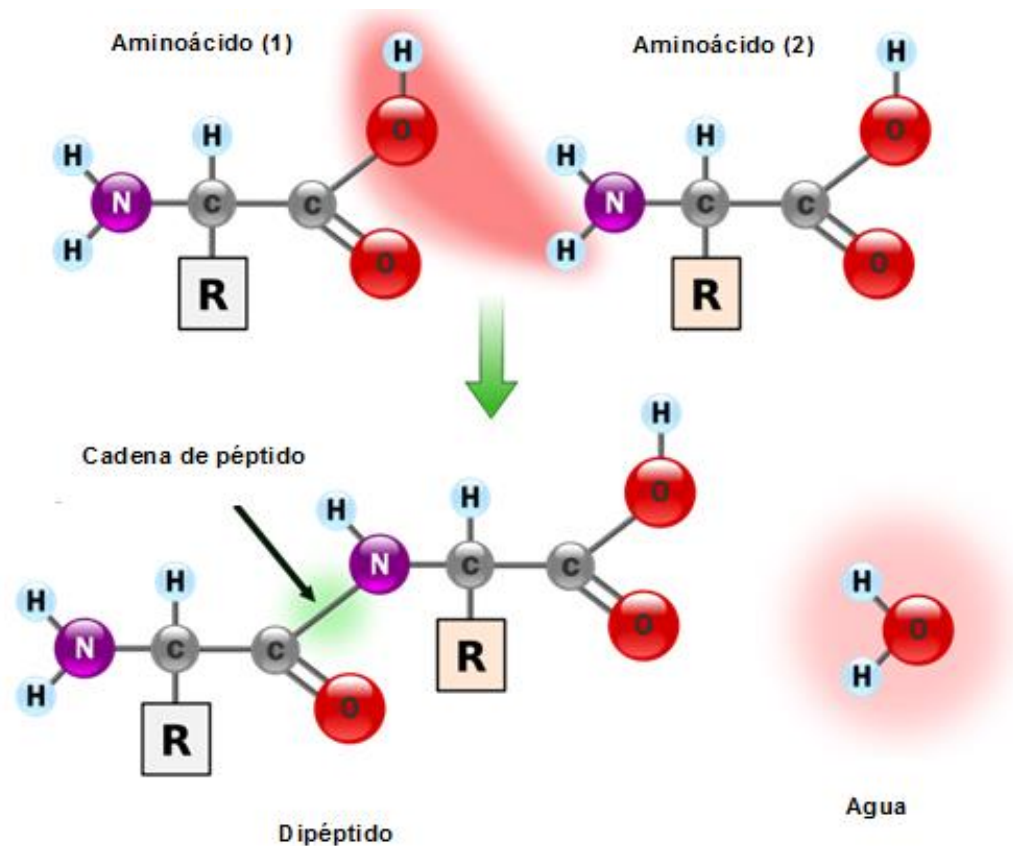
**4.6.3. Estructura nativa de las proteínas.** Las proteínas son macromoléculas de estructura tridimensional muy compleja. Una proteína relativamente pequeña, formada por 500 aminoácidos, tiene unos 10.000 átomos y su masa molecular excede de los 50 kDa. Cada proteína tiene una estructura tridimensional fija, que

se llama **estructura nativa**, totalmente necesaria para que la proteína lleve a cabo su función biológica. Para conservar estable esta estructura nativa es preciso que el entorno presente condiciones fisiológicas adecuadas a saber: temperatura entre 20 – 37 °C y pH próximo al neutro.

<b>ESENCIALES</b>	<b>NO ESENCIALES</b>
Isoleucina	Alanina
Leucina	Aspartato
Lisina	Cisteína
Metionina	Glutamato
Fenilalanina	Glutamina
Treonina	Glicina
Triptófano	Prolina
Valina	Serina
Histidina	Asparagina
Tirosina*	
Arginina*	

(\*)Esencial sólo en determinadas condiciones.

**Tabla 4.3** Aminoácidos esenciales y no esenciales en humanos.



**Figura 4.25.** Diagrama que muestra la formación de un péptido, el cual está formado por aminoácidos enlazados por enlaces peptídicos.

Esta estructura se mantiene en virtud de enlaces e interacciones débiles (puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals). Si las condiciones de temperatura y pH cambian, elevando la temperatura por encima de 70°C o haciendo el medio muy ácido o muy alcalino, los enlaces que mantienen unida la estructura final se desestabilizan y se rompen, por lo cual la proteína pierde su actividad biológica. Este proceso se conoce como **desnaturalización** de la proteína y la consecuencia más inmediata es la **precipitación** de la misma.

Existe una estrecha correlación entre las estructuras de la proteína y la función que desempeña, de tal forma que los cambios en la primera son determinantes para la disminución o pérdida de sus propiedades y función biológica. Determinar la estructura nativa de cada proteína, es decir, la ubicación espacial de cada átomo, es una ardua tarea que requiere técnicas muy avanzadas, por lo que el número de proteínas con estructuras conocidas con exactitud es aún pequeño.

Para organizar el estudio estructural se establezcan cuatro niveles, en orden creciente de complejidad, que se llaman **estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria de la proteína** (Ver Figura 2.26). Estos niveles tienen un orden jerárquico, de tal modo que le estructura primaria condiciona la secundaria,



está a su vez la terciaria, la cual lo hace con la cuaternaria (Ruíz, 1999).

El primero, la estructura primaria, se refiere a la secuencia de aminoácidos de una proteína, en tanto que los otros niveles se relacionan con la organización de la molécula en el espacio.

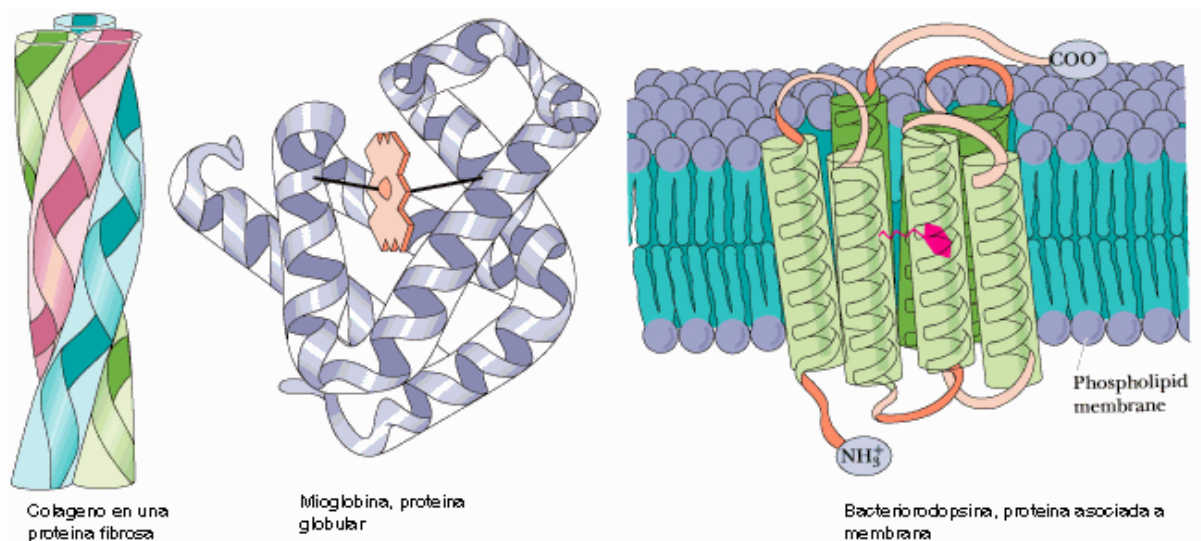
**Estructura primaria.** El orden lineal de los aminoácidos dentro de la proteína se conoce como **estructura primaria** de la proteína y está determinada por el código genético presente en el ADN. Mediante pruebas de laboratorio, los investigadores pueden indagar la secuencia precisa de los aminoácidos en las moléculas proteínicas. La **insulina**, hormona que secreta el páncreas y que se utiliza en el tratamiento de la diabetes, fue la primera proteína en la que se identificó la secuencia precisa de aminoácidos en las cadenas polipeptídicas.

Con 20 diferentes bloques de construcción, el número de polipéptidos variados que puede formarse es  $20^n$ , donde  $n$  es el número de aminoácidos en la cadena. Puesto que la mayor parte de los polipéptidos contiene más de 100 aminoácidos (y algunos miles), la variedad de posibles secuencias es prácticamente ilimitada. La información del orden preciso de los aminoácidos en cada proteína que un organismo puede producir se incluye en la herencia genética de dicho organismo.

**Estructura secundaria.** Toda la materia existe en el espacio y por lo tanto tiene una estructura tridimensional. Las proteínas se forman mediante uniones entre un gran número de átomos; por consiguiente, su forma es compleja. El término **conformación** se refiere al arreglo tridimensional de los átomos de la molécula, o sea, su organización espacial. La estructura secundaria describe la conformación de partes de la cadena de polipéptidos.

La estructura secundaria de una proteína ocurre cuando el polipéptido se enrolla o pliega de manera particular. Linus Pauling y Robert Corey, quienes iniciaron el estudio de la estructura de los aminoácidos a finales de 1930, concluyeron que una espiral que llamaron hélice  $\alpha$  (alfa) y una lámina plagada que llamaron lámina  $\beta$  (beta) eran dos modelos básicos de aminoácidos dentro de un polipéptido.

La mayor parte de las proteínas se pueden clasificar según su conformación integral como **proteínas fibrosas**, que tienen una forma muy alargada, o **proteínas globulares**, que poseen una forma compacta.



**Figura 4.26.** Según su conformación integral, las proteínas pueden ser fibrosas con forma muy alargada o proteínas globulares de forma compacta.

La mayor parte de las proteínas que actúan como materiales estructurales fuera de las células vivientes son proteínas fibrosas de estructura secundaria, como el colágeno y la elastina de los tejidos conectivos; la queratina de cabellos, piel y uñas; y la seda. Estas proteínas constan de fibras largas o de hojas aplanadas que resisten fuerzas de tensión o de corte a las cuales están expuestas. Por lo contrario, la mayor parte de las proteínas dentro de las células son proteínas globulares (Petsko y Ringe, 2003).

**Estructura terciaria.** La estructura terciaria es un pliegue que da por resultado la forma tridimensional final de un polipéptido. Las llamadas **proteínas globulares** suelen enrollarse en formas circulares y cuentan con una estructura terciaria. Varios tipos de enlaces entre los grupos R de los aminoácidos ocasionan la estructura terciaria. Las enzimas son proteínas globulares y trabajan mejor a temperatura corporal; cada una también tiene un pH óptimo en el cual la velocidad de la reacción es más alta. Una temperatura alta y cambio en el pH puede romper las interacciones que mantienen la forma de la enzima. Cuando una proteína pierde su forma natural, se dice que se ha **desnaturalizado**. Ver Figura 4.27.

**Estructura cuaternaria.** Aunque numerosas proteínas, como la mioglobina, se componen de una sola cadena de polipéptidos, muchas otras están formadas por más de una cadena o **subunidad**. Se dice que las proteínas compuestas por subunidades tienen una estructura cuaternaria. Según la proteína, las cadenas de polipéptidos pueden ser idénticas o no idénticas. Una proteína compuesta de dos subunidades idénticas se describe como *homodímero*, en tanto que una proteína compuesta de dos subunidades no idénticas es un *heterodímero*. Una proteína de múltiples subunidades bastante bien estudiada es la hemoglobina, la proteína que transporta O<sub>2</sub> en los eritrocitos.

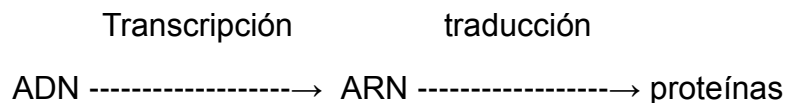
**Multiproteínas complejas.** Aunque la hemoglobina consta de cuatro subunidades, todavía se considera una proteína simple con una sola función. Se conocen muchos ejemplos en los cuales diferentes proteínas, cada una con una función específica, se reúnen físicamente para formar una multiproteína compleja mucho más grande. Una de las primeras multiproteínas complejas que se describieron y se estudiaron fue la piruvato deshidrogenasa de la bacteria *E. coli*, que consta de 60 cadenas de polipéptidos correspondientes a tres enzimas diferentes (Karp, 2011).

#### 4.7. ÁCIDOS NUCLEICOS.

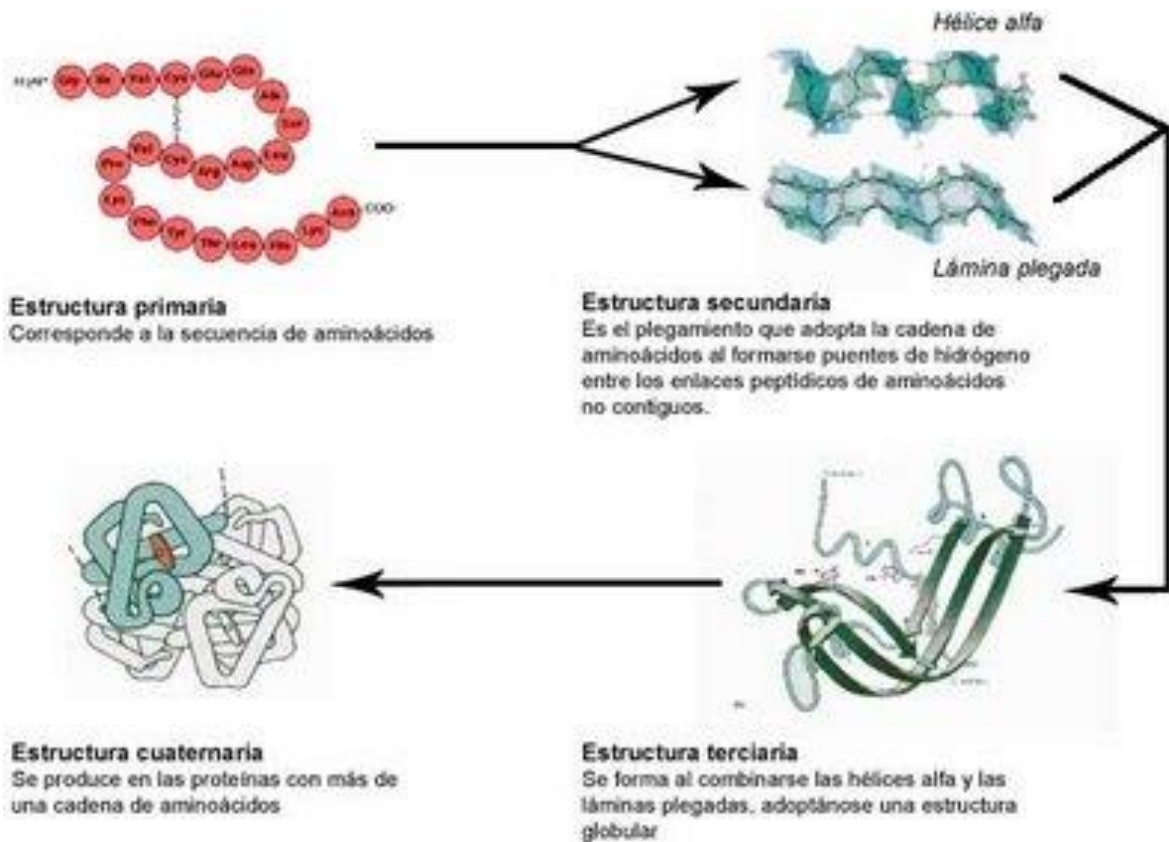
La organización, el mantenimiento y la regulación del funcionamiento celular requieren de enormes cantidades de información, y todas éstas deben procesarse cada vez que se duplica una célula. Con muy pocas excepciones, la **información genética** se encuentra almacenada y se transmite de una generación a la siguiente en forma de ácidos nucleicos a saber: Ácido desoxirribonucleico (ADN) y Ácido ribonucleico (ARN). Los **genes**, que constituyen las unidades hereditarias de los cromosomas, son largos segmentos de ADN de doble cadena.

Si se desenrosca el ADN de un cromosoma humano que contiene una sola célula, mediría aproximadamente 1.8 metros de largo.

La información genética se expresa en dos etapas: la **transcripción** del ADN a los ácidos ribonucleicos (ARN) y posteriormente, la **traducción** para la síntesis de proteínas.



De este modo, el ADN constituye un depósito de la información genética de las células, mientras que el ARN sirve para transcribir y traducir esta información, la cual se expresa posteriormente a través de la síntesis de proteínas. (Brown, 2002).



**Figura 4.27.** Las proteínas presentan cuatro niveles de estructura: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

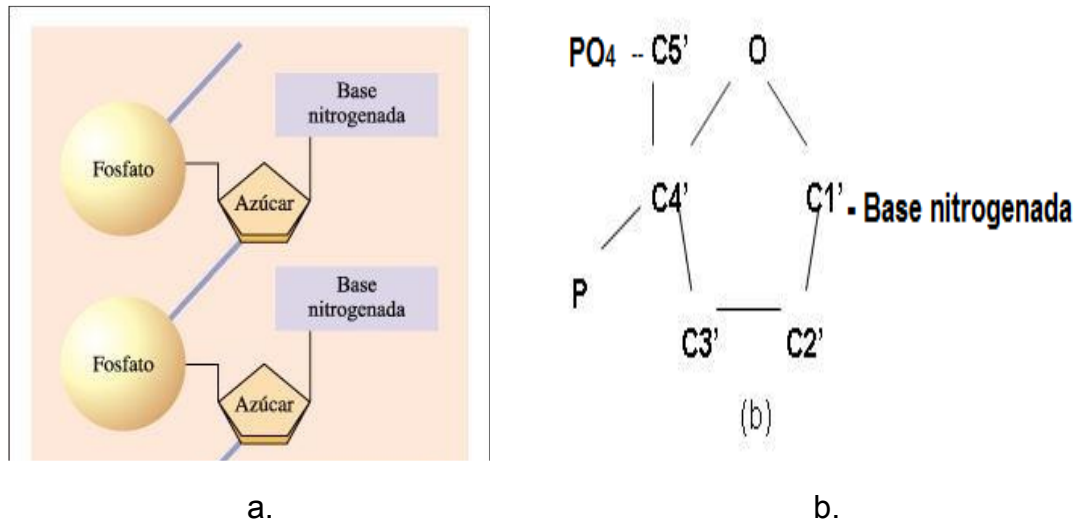
#### 4.7.1 Nucleótidos

Desde el punto de vista químico, un ácido nucleico es un polímero formado por síntesis de deshidratación a partir de **nucleótidos** (monómeros). Los elementos presentes son: carbono, hidrógeno, oxígeno y fósforo. (Ver Figura 4.28).

Cada **nucleótido** constituye una unidad molecular formada por:

- ❖ Un azúcar de cinco carbonos (pentosa), ya sea desoxirribosa o ribosa.
- ❖ Un ión fosfato ( $PO_4$ )
- ❖ Una base nitrogenada, bien sea una **purina** (adenina **A** o guanina **G**) o una **pirimidina** (timina **T**, citosina **C** o uracilo **U**) (Morrison y Boyd, 1996)

Los ácidos nucleicos están formados por cadenas de nucleótidos. Una cadena se forma (por síntesis de deshidratación) cuando se realizan enlaces covalentes entre el azúcar de uno de los nucleótidos y el fosfato del otro. Estos enlaces se llaman puentes **fosfodiéster**.



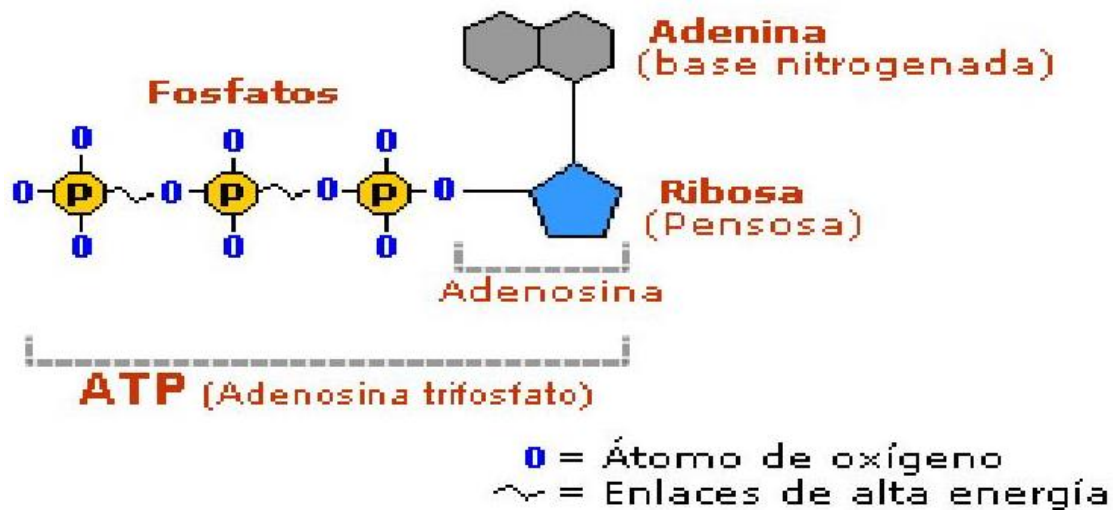
**Figura 4.28.** Composición de un Nucleótido. a) Distribución espacial de sus componentes: base nitrogenada, fosfato y azúcar; b) En el azúcar desoxirribosa los átomos de carbono se enumeran 1" (uno prima), 2", 3", 4" y 5" y sirven de guía para orientar cada molécula en el ADN.

La información específica de los ácidos nucleicos se codifica en una secuencia única de los cuatro tipos de nucleótidos presentes en una cadena. Cuando el grupo fosfato se elimina de un **nucleótido** se origina un compuesto llamado **nucleósido**, constituido por una base nitrogenada y el azúcar. Además de su importancia como sub – unidades de los ácidos nucleicos, los nucleótidos intervienen en destacadas actividades de las células.

Algunos nucleótidos tienen funciones metabólicas independientes en las células. Por ejemplo, algunos son componentes de **coenzimas**, moléculas orgánicas no proteínicas que facilitan las reacciones enzimáticas. El **ATP (trifosfato de adenosina)** es un nucleótido que proporciona energía para las reacciones de síntesis y para otros procesos que requieren energía en las células.

### **ATP (TRIFOSFATO DE ADENOSINA)**

El ATP es un nucleótido conformado por tres grupos fosfato unidos con la pentosa ribosa. El ATP es una molécula de alta energía, ya que los dos últimos enlaces fosfato son inestables y se rompen con facilidad. Por lo regular, el enlaces fosfato terminal se hidroliza en las células y la molécula se convierte en **ADP (difosfato de adenosina)** y una molécula de fosfato inorgánico. Ver Figura 4.29.



**Figura 4.29.** El ATP es la forma de energía más utilizada por la célula.

La energía liberada por descomposición del ATP se acopla al proceso de requerimiento de energía en las células, tal como la síntesis de macromoléculas en carbohidratos y proteínas. En células musculares, la energía se utiliza para contraer el músculo, y en las células nerviosas, para conducir impulsos nerviosos. Así, como se gasta dinero al pagar un producto o un servicio, las células “gastan” ATP cuando necesitan algo. Por consiguiente, el ATP se llama la moneda energética de las células. (Solomon et al, 2011).

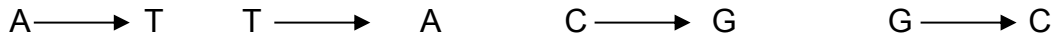
#### 4.7.2 ADN (ÁCIDO DESOXIRIBONUCLEICO)

El ADN es la molécula orgánica responsable del almacenamiento y la transmisión de la información genética. Se encuentra principalmente en los cromosomas y en pequeñas cantidades, en las mitocondrias y en los cloroplastos. En los cromosomas de las células eucariotas, el ADN está asociado a proteínas básicas principalmente a las histonas. A los investigadores **James Watson** (de la Universidad de Harvard) y **Francis Crick** (de la Universidad de Cambridge en Inglaterra), se les concedió el Premio Nobel en 1962 por su descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN (Recio del Bosque, 2004).

El modelo de ADN de Watson y Crick consta de dos bandas o cadenas de ADN entrelazadas que se enrollan sobre sí mismas en direcciones opuestas. Esta doble cadena mantiene su estructura gracias a puentes de hidrógeno, formando una estructura tridimensional, en forma similar a una escalera en espiral. Cada cadena de ADN es una larga secuencia de nucleótidos; cada nucleótido posee un grupo fosfato, un azúcar de cinco carbonos (desoxirribosa) y una de cuatro bases nitrogenadas distintas. Cada peldaño de la escalera en espiral se forma de un **par de bases** de nucleótidos, una base de cada cadena. Los pares de bases siempre contienen una purina y una pirimidina (o viceversa) y adoptan una de las

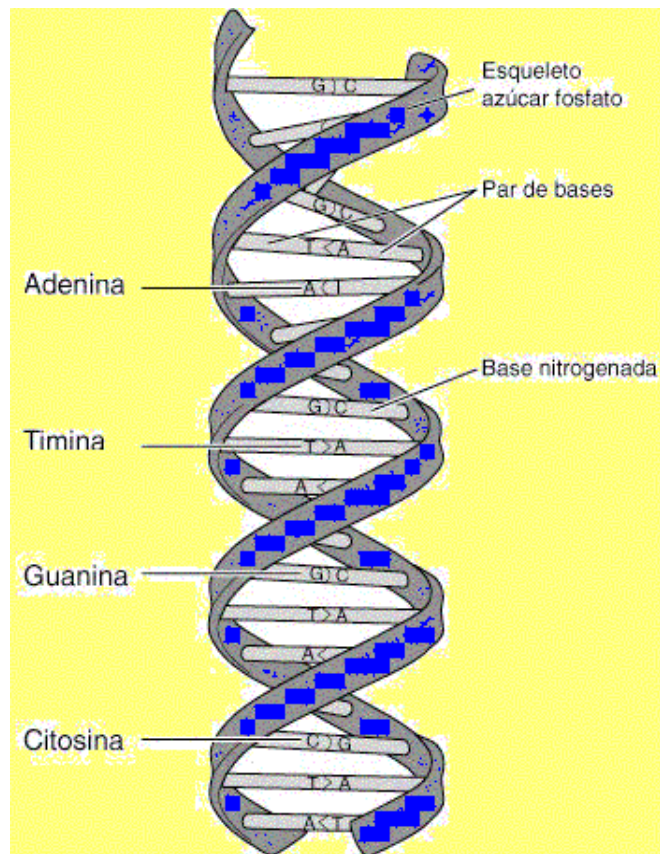


siguientes combinaciones complementarias:



El par de bases se encuentra unido por enlaces de hidrógeno, así: entre timina y adenina se pueden formar dos y entre guanina y citosina se pueden formar tres enlaces de hidrógeno. De manera similar, el grupo fosfato se une al azúcar en su carbono 5' mientras que la base nitrogenada lo hace al carbono 1'. Los azúcares y fosfatos de los nucleótidos forman el pasamanos de la escalera y ayudan a mantener los peldaños en su sitio que son las bases nitrogenadas.

Los átomos de los carbonos 5' y 3' de dos moléculas adyacentes de desoxirribosa están unidos mediante enlaces fosfodiéster, disposición que facilita la formación de un polímero de longitud indefinida. Ver Figura 4.30.



**Figura 4.30.** Estructura del ADN.

Actualmente se conoce que la mayor parte de las moléculas de ADN presentes en las células tienen millones de bases de longitud, y que los nucleótidos pueden enlazarse entre sí en cualquier orden. En la Figura 4.30. se ilustra que una cadena polinucleotídica tiene un sentido. No importa cuán larga sea la cadena, un extremo tiene un carbono 5' y el otro extremo tiene un carbono 3' que no está unido a otro nucleótido (Solomon *et al*, 1996).

Como las bases nitrogenadas se proyectan hacia afuera en ángulos rectos en relación con la cadena de azúcar y fosfato, esto determina que la escalera gire sobre sí misma, complementando una vuelta de la espiral cada 10 nucleótidos y formando una doble cadena (bicatenaria). Las bases pueden estar en cualquier orden dentro de una cadena, pero entre ellas, la timina (T) de una cadena siempre se aparea con la adenina (A) de la otra cadena, y lo mismo acontece con la guanina (G) y la citosina (C). Esto se llama **apareamiento de bases complementarias**.

En otras palabras, las secuencias de nucleótidos en una cadena determina la secuencia complementaria de nucleótidos en la otra. Por ejemplo, si una cadena tiene la secuencia **3' TCACGA 5'** la otra cadena tiene la secuencia complementaria **5' AGTGCT 3'**.

Sin importar el orden o la cantidad de cualquier par de bases en particular, el número de bases de purina (A + G) siempre es igual al número de bases de pirimidina (T + C) (Morrison y Boyd, 1976).

Una de las características fundamentales del ADN es que segmentos muy cortos del mismo contienen **genes**, los cuales especifican el orden en que cada aminoácido se une para construir una proteína. A su vez, las proteínas rigen el desarrollo de los rasgos de un individuo.

El modelo de la doble cadena explica la forma en que el ADN puede transmitir la información genética. Si las cadenas opuestas son complementarias y aunque existen restricciones respecto al apareamiento de las bases nitrogenadas, el número de combinaciones en cada cadena es casi ilimitada, y las diversas secuencias codifican diferente información. Como las moléculas de ADN en una célula pueden tener millones de nucleótidos, la secuencia de bases en una cadena puede almacenar inmensas cantidades de información.

La información contenida en el ADN se transporta hacia moléculas del ARN que migran al citoplasma, donde dirigirán la síntesis de las moléculas proteicas, a través de las cuales los genes van a expresarse en el fenotipo.

Para la célula es ventajoso utilizar los distintos tipos de ARN como intermediarios en la síntesis proteica. De este modo es más fácil preservar, sin cambios, el programa original contenido en el ADN. Además de esto, sería muy complicado mantener junto al ADN una compleja maquinaria de síntesis proteica en las células eucariotas. Es más práctico que estas células tengan un compartimiento o núcleo donde se mantiene el ADN, replicándolo. En otro compartimiento, el citoplasma, tienen lugar la síntesis, el procesamiento y la distribución de las moléculas proteicas (Cooper y Hausman, 2011).



### 4.7.3 ARN (ÁCIDO RIBONUCLEICO)

Los ácidos ribonucleicos (ARN) se diferencian del ADN en tres características importantes: (1) el azúcar es la D-ribosa; (2) el uracilo reemplaza a la timina como una de las cuatro bases nitrogenadas, y (3) la mayoría de las moléculas del ARN tienen una sola cadena, a pesar de que se puedan encontrar regiones helicoidales, a través de la doblez de la cadena consigo misma (Hart, 2002).

Las células contienen tres tipos principales de ARN. Ver Figura 4.31.

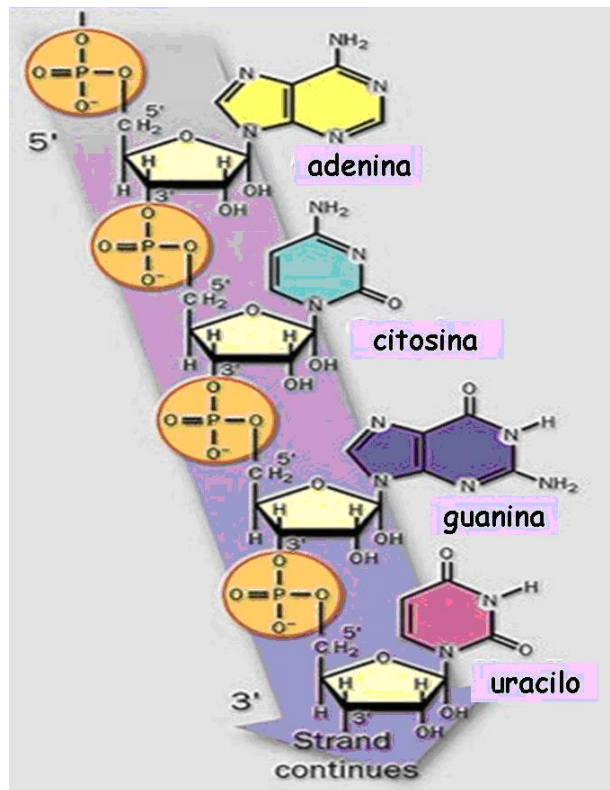
- ❖ El ARNm → ARN mensajero
- ❖ El ARNt → ARN de transferencia
- ❖ El ARNr → ARN ribosomal

**ARN mensajero o ARNm.** Es sintetizado en los cromosomas, como los demás ARN de la célula. El ARNm se ensambla como copia complementaria de una de las dos cadenas de ADN que constituyen un gen. El ARN mensajero (ARNm) interviene en la **transcripción** del código genético y es el molde para la síntesis de proteínas. Hay un ARNm específico para cada proteína que sintetiza en las células.

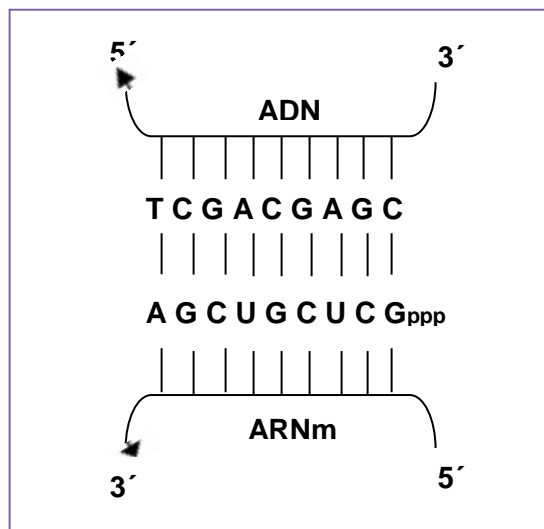
**ARN de transferencia o ARNt.** De los tres tipos de ácidos ribonucleicos, el ARNt, es el que posee menor número de moléculas. Estas están constituidas por 75 a 90 nucleótidos y tienen un peso molecular comprendido entre 25000 y 30000 daltons. Su función es transferir los aminoácidos hacia las posiciones correctas en las cadenas polipeptídicas en formación, en los complejos de ribosomas y ARNm (polirribosomas).

**ARN ribosomal (ARNr).** Representa alrededor del 80% del ARN celular total (ARNt=15%, ARNm= 5%). Y por lo tanto este ARN es más abundante que los otros dos. Los ARN ribosómicos son moléculas que no contienen información genética; más bien sirven como armazones estructurales sobre las cuales pueden unirse las proteínas del ribosoma y como elementos que se fijan a diferentes componentes solubles requeridos para la síntesis de proteínas.

El ARNr combinado con proteínas, forma partículas fácilmente visibles al microscopio electrónico, denominadas **ribosomas**. Cuando están unidos a filamentos de ARNm, los ribosomas forman los polirribosomas, donde tiene lugar la síntesis de proteínas (Lozano, 2000).



**Figura 4.31** Estructura del ARN.

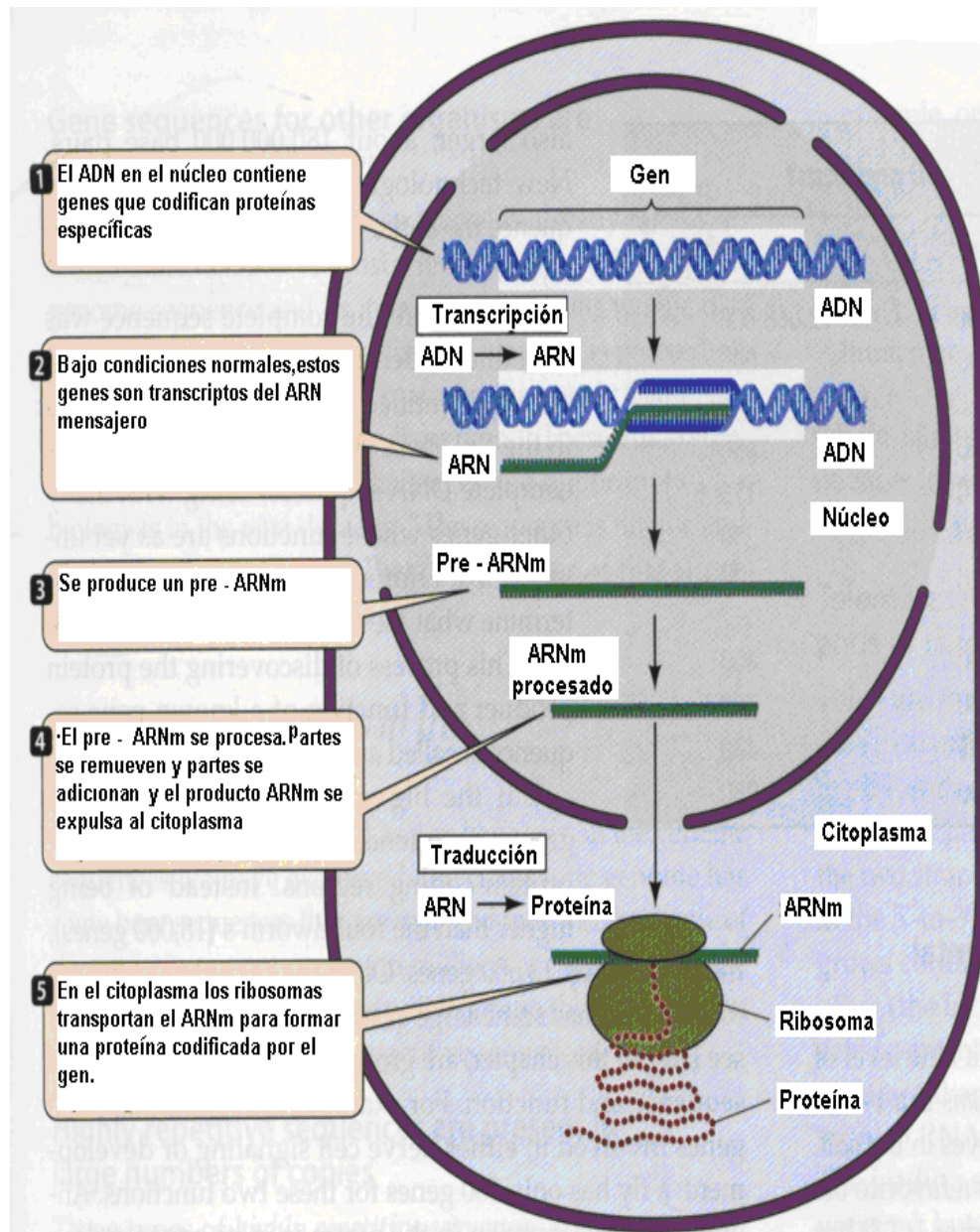


**Figura 4.32.** Esquema que representa un segmento de ADN con su respectivo ARN mensajero.

Hasta 1982 se creía que todas las enzimas eran proteínas. Pero este dogma de la bioquímica se desechó ese año con el descubrimiento de que algunos tipos de ARN pueden actuar como catalizadores biológicos. Se pueden cortar, empalmar y ensamblar ellos mismos, sin el auxilio de las enzimas convencionales. El descubrimiento de las **ribozimas**, como se les ha llamado, ha tenido un gran

impacto en las teorías sobre el origen de la vida.

La pregunta importante era: ¿qué fue primero en el origen de la vida, las proteínas o los ácidos nucleicos? Las proteínas podrían ser enzimas y catalizar las reacciones necesarias para la vida, pero no podrían almacenar información genética. Se pensaba que lo contrario podría ser cierto para los ácidos nucleicos. Pero, con el descubrimiento de la actividad catalítica de algunos tipos de ARN, parece cierto que, hace 4.000 millones de años, la tierra era un mundo de ARN, en el cual las moléculas de ARN efectuaban todos los procesos de la vida, sin la ayuda de las proteínas o del ADN, a pesar de que este último es el que contiene el código genético (Paniagua *et al*, 2007).



**Figura 4.33.** Esquema que representa la ruta del ADN para formar ARNm y luego ensamblar las proteínas.

### BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, Peter *et al.* 1992. Biología. New Jersey. Prentice Hall.
- AUDERSIK, Teresa y Gerald AUDERSIK. 2006. Biología. La vida en la tierra. 4a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- BARRERA, Nancy. 1998. Biología celular. Palmira (Valle). Universidad Nacional de Colombia.
- BENKOVIC, S. J. and S. HAMMES-SCHIFFER. 2003. A perspective on enzyme catalysis. *Science* 301: 1196-1202.
- BERG, J. M. *et al.* 2007. Biochemistry 6<sup>th</sup> ed USA: W.H. Freeman
- BERNSTEIN, Ruth y Stephen BERNSTEIN. 1998. BIOLOGÍA. 10a ed. Bogotá: Mc Graw-Hill Interamericana.
- BIGGS, Alton *et al.* 2000. Biología: la dinámica de la vida. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- CURTIS, Helena y N. Sue BARNES. 2000. Biología. 6a ed. Madrid: Mérida Panamericana.
- FREDRICKSON, James y Tullis C. ONSTOTT. Dic. 1996. Vida en las profundidades de la tierra. Investigación y Ciencia. Barcelona.
- GUYTON, Arthur. 2000. Tratado de fisiología médica. 10<sup>a</sup> ed. Madrid: McGraw-Hill.
- HAMMES G.G. 2000. Thermodynamics and kinetics for the biological science. USA. Wiley.
- JUNQUEIRA, Luiz C. y José CARNEIRO. 1998. Biología celular y molecular. 6a ed. Santiago: Mc Graw-Hill Interamericana.
- KARP, Gerald. 2011. Biología celular y molecular 6a ed. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- LEHNINGER, Albert L. 2005. Bioenergética. USA: Fondo Educativo Interamericano.
- MADER, Sylvia. 2008. Biología. 9<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill.
- MADIGAN, Michael *et al.* 2006. Brock. Biología de los microorganismos. 10a ed. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- NELSON, D.L. *et al.* 2009. Legnninger. Principles of Biochemistry. 5<sup>th</sup> ed. USA:

W.H Freeman.

OVERMIRE, Thomas G. 2010. Biología 2ª ed. México: Limusa.

PETSKO, G.A. and D. RINGE. 2003. Protein structure and Function. Sunderland, MA: Sinauer.

SOLOMON, Eldra Pearl *et al.* 1996. Biología de Villée. 3a ed. México: Interamericana - Mc Graw-Hill.

SPIRO, Thomas G. y William M. STIGLIANI. 2007. Química medioambiental. Madrid: Pearson – Prentice Hall.

STARR, Cecie y T. Ralf TAGGART. 2004. Biología 10 ed. México. Interamericana McGraw-Hill.

STIEGLER, Gabor *et al.* Nov. 1997. Biotecnología de fármacos. Investigación y Ciencia. Barcelona.

PURVES, William K. *et al.* 2001. Life. The science of biology. 6th ed. USA: Sinauer associates

VASQUEZ TORRE, G.A.M. 2004 Ecología y formación ambiental. 2a ed. McGraw Hill, Colombia.

VOET, D. and J. G. VOET. 2004. Biochemistry. 4th ed. 2 vol. USA: Wiley.

## UNIDAD 5.



# BIOENERGÉTICA Y PROCESOS METABÓLICOS

---

## INTRODUCCIÓN

Todos los organismos vivos (sin excepción) necesitan un continuo suministro de energía para realizar sus actividades: crecer, moverse, mantenerse y repararse, responder a estímulos, reproducirse. Se libera o absorbe energía durante las reacciones químicas involucradas en estos ejercicios, denominándose **metabolismo** el conjunto de transformaciones químicas y energéticas que ocurren en los seres vivos.

En los humanos, la energía proviene de los productos alimentarios que se consumen diariamente, constituidos por macromoléculas que se fragmentan en moléculas más pequeñas dentro del aparato digestivo y son transportados, por medio de la sangre, a las células corporales. Allí, la energía química de las moléculas de los alimentos se libera mediante una serie de reacciones químicas conocidas como **respiración celular**. La energía química que se libera de las moléculas alimentarias es similar a la gasolina que quema el motor de un automóvil.

El cuerpo humano y el motor de un automóvil queman combustibles análogos. Las células “queman” glucosa, ácidos grasos y aminoácidos, que son los componentes digeridos de los carbohidratos, las grasas y las proteínas de los alimentos. Un automóvil quema gasolina que es un hidrocarburo formado a partir de macromoléculas originadas de fósiles que se formaron hace millones de años. Las células somáticas y los motores de los autos combinan las moléculas del combustible con oxígeno para formar bióxido de carbono, agua y energía. Solo una parte de esa energía puede capturarse y usarse para realizar un trabajo; el resto escapa inevitablemente como calor. Tanto el cuerpo humano como el automóvil se recalientan con el exceso de trabajo.

Se diferencia el cuerpo humano y el motor del auto en la forma como el combustible libera la energía. Las células corporales utilizan **enzimas** para liberar energía gradualmente en una serie de etapas intermedias. Un motor de automóvil quema su combustible en una sola etapa. Al liberar la energía de un modo gradual, las células capturan una mayor cantidad de energía que la que atrapa un motor de automóvil. Por otra parte, el cuerpo humano dilapida combustible por cuanto debe permanecer “prendido” constantemente. Si el cuerpo se apagara como un motor de automóvil, las células morirían y el cuerpo también. Todas las células requieren un aporte continuo de energía solo para mantenerse vivas.

## 5.1 CONCEPTO Y FORMAS DE ENERGIA

Se denomina **energía** la capacidad para producir trabajo o actividad. En otros términos, es la capacidad para producir un cambio en el estado o movimiento de la materia, considerándose la materia como todo cuanto posee masa y ocupa un lugar en el espacio. Al analizar aquí la capacidad de los seres vivos para realizar el trabajo biológico se concluye que todas las actividades que realiza un organismo necesitan energía.

La energía puede tener diversas formas. Entre éstas se incluyen las térmica, eléctrica, mecánica, química, sonora y radiante (esta última es la energía de las ondas electromagnéticas, como las ondas de radiofrecuencia, luz visible, rayos X y rayos gamma).

**La energía puede calificarse como potencial o cinética.** La **energía potencial** es la almacenada y sirve para realizar trabajo en función de su posición o estado. En contraste, la **energía cinética** es la de movimiento (Hammes, 2000).

Un ejemplo de la conversión de energía potencial en cinética es el disparo de una flecha. La tensión del arco y la cuerda es energía potencial, de modo que el movimiento del arco impulsa a la flecha. Se precisa energía adicional para tensar de nuevo el arco y restaurar la energía potencial. Muchas de estas acciones de los organismos vivos implican un conjunto complejo de transformaciones de la energía. Por ejemplo, en preparación para una carrera de competencia, los atletas ingieren alimentos con el fin de acumular reservas de glucógeno. Durante el evento, el cuerpo del deportista transforma continuamente la energía almacenada en el glucógeno en energía cinética, que usa para correr en dicho evento. Ver Figura 5.1.



**Figura 5.1.** Ilustración de la conversión de energía potencial a energía cinética. La tensión del arco y de la cuerda es energía potencial de modo que el movimiento del arco impulsa la flecha (energía cinética).

¿Los científicos como miden la energía? El calor es una forma conveniente de energía que puede medirse, dado que todas las formas de energía se transforman en calor. Pueden usarse diversas unidades para medir la energía, pero la más utilizada en sistemas biológicos es la **kilocaloría** (kcal). Es la cantidad de calor necesaria para aumentar de 14.5 a 15.5°C la temperatura de 1 kg de agua. Los nutricionistas utilizan la kilocaloría para medir la energía potencial de los alimentos y en general se refieren a ella con el nombre de caloría. En microbiología, se usa también el kilojulio (kJ) como unidad de energía calorífica (Madigan *et al*, 2006).

La transformación de energía de un tipo en otro y la eficiencia de la conversión de energía en trabajo son de importancia central en el estudio de la física y de la química. Cuando ocurre un cambio físico o químico, lo primero que se pregunta el observador es ¿qué fuerzas motivaron el cambio? ¿Por qué el cambio llega hasta un punto en que se detiene? ¿Podría haberse previsto si el cambio iba o no a tener lugar, así como la naturaleza del mismo? Todas estas preguntas son



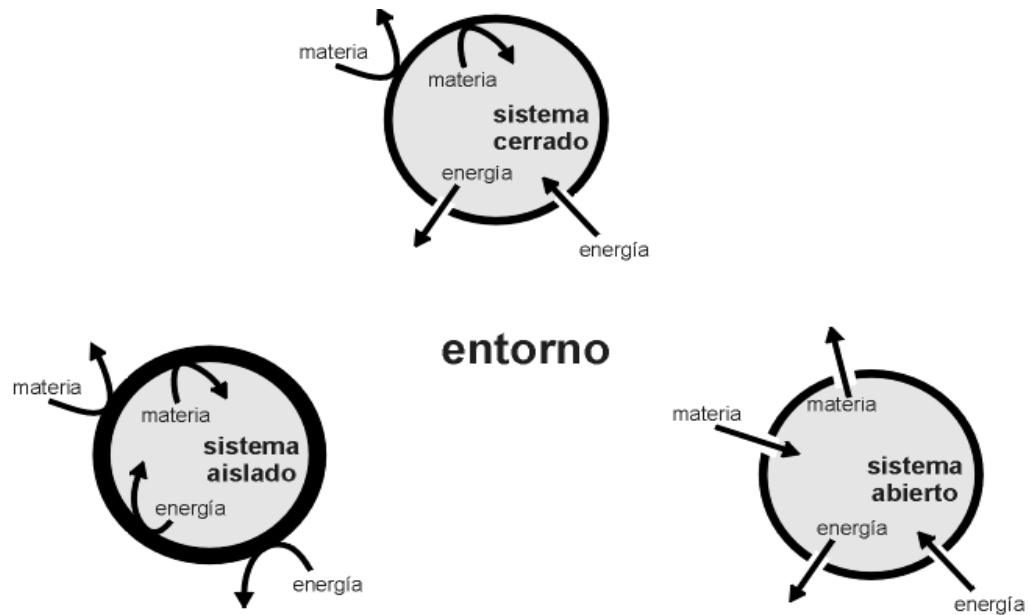
básicas, porque cada proceso físico o químico es el resultado de la acción de una fuerza no equilibrada y, a su vez, una fuerza es el producto o resultado del movimiento de energía. A partir de estas consideraciones se deduce que todos los procesos físicos y químicos son, en última instancia, el resultado de la aplicación, movimiento o transformación de la energía. El estudio de los intercambios de energía en sistemas materiales se conoce como **Termodinámica**.

Actualmente, todos los científicos coinciden en que las leyes de la física y de la química, incluyendo los principios termodinámicos, también se cumplen en el mundo biológico; no puede haber ningún proceso por medio del cual los organismos vivos se sustenten y se perpetúen a sí mismos. **Bioenergética** es el término que se utiliza para designar el estudio de las transformaciones de energía en los organismos vivos (Lehninger, 2005).

## **5.2 TERMODINÁMICA Y SUS LEYES**

Todas las actividades del universo, incluyendo el planeta Tierra y todo cuanto pertenece a él, se ajustan a unas leyes energéticas conocidas como las leyes de la termodinámica. **Termodinámica** es el estudio de los cambios energéticos que acompañan a los acontecimientos del universo. A continuación, se exponen algunos conceptos que permiten predecir la dirección que seguirán los hechos y si un acontecimiento requiere o no el suministro de energía para que ocurra. Sin embargo, los principios de la termodinámica no ayudan a determinar la velocidad de un proceso específico ni el mecanismo que la célula emplea para efectuarlo (Bernstein y Bernstein, 1998).

Para estudiar las transformaciones de energía que afectan la materia se precisa dividir el universo en dos secciones: la porción de materia en la cual se presentan los cambios de energía durante algún proceso físico o químico se denomina **sistema** (Por ejemplo, una célula, un organismo, una montaña) y el resto de



**Figura 5.2:** Diagrama de un sistema termodinámico en que se muestra el flujo de energía.

materia del universo que se llama **entorno**, que comprende el hábitat físico y biótico que rodea al sistema. Ver Figura 5.2.

Un sistema puede ser cierto espacio en el universo o cierta cantidad de materia. Por ejemplo, el sistema puede ser una célula viva. En la mayor parte de los sistemas termodinámicos es necesario especificar si el sistema permite el intercambio o no de energía con su entorno. Si permite el intercambio de energía, se considera un **sistema abierto**; si no permite el intercambio, es un **sistema cerrado**.

Se considera que un organismo es un sistema abierto respecto a la energía, en virtud del flujo unidireccional de ésta en dicho organismo, el cual capta la energía, la almacena temporalmente y luego la usa para actividades biológicas. Durante estos procesos, la energía se convierte en calor y se dispersa en el ambiente. Así pues, los organismos obtienen la energía que necesitan de su entorno y, tarde o temprano, liberan una parte de energía en el ambiente mismo, en forma de calor.

En el desarrollo de un proceso físico o químico es necesario determinar el contenido total de energía del sistema o **Entalpía (H)** antes de que el proceso tenga lugar, es decir, en el estado inicial, y después de que se haya realizado, es

decir, en el estado final. A medida que el sistema evoluciona desde su estado inicial hacia el estado de equilibrio, puede consumir energía del entorno o liberarla. La variación en el contenido de energía del sistema originada al pasar de un estado a otro, está contrarrestada por un cambio de sentido contrario. El estado de equilibrio es aquel en que ya no se produce ningún cambio ulterior en el interior del sistema, o entre el sistema y el entorno. En el equilibrio, la temperatura y la presión son uniformes en todo el sistema, y ya no operan en él fuerzas sin equilibrar (Spiro y Stigliani, 2007).

Las leyes de la termodinámica son independientes del tiempo que un sistema requiere para pasar de un estado inicial a su estado final. De este modo, no importa que un proceso químico o físico necesite segundos o siglos para alcanzar el equilibrio. Por otra parte, la termodinámica no se interesa por el camino o mecanismo seguido por los cambios físicos o químicos. Solamente tiene en cuenta la diferencia de energía entre el estado inicial y el final del sistema, independientemente de cómo ha tenido lugar la transición (Curtis y Barnes, 2000).

Una analogía ilustra este punto. Si una persona viaja desde Cúcuta hasta Bogotá, su cambio de situación depende solamente de la diferencia entre la latitud y la longitud de su posición inicial (Cúcuta) y la latitud y longitud de su posición final (Bogotá) sin importar la ruta que pueda tomar, o si viaja 300 o 400 o 1000 kilómetros para llegar allí. Del mismo modo sucede en termodinámica. Solamente se tienen en cuenta los estados inicial y final, sin importar el camino seguido por el proceso. Como consecuencia se deduce que los cambios de energía que tienen lugar en cada uno de los pasos intermedios de cualquier proceso químico o físico son completamente aditivos. Su suma algebraica es exactamente igual al incremento de energía del proceso global, independientemente de la naturaleza o el número de pasos que integran el camino seguido.

### **5.2.1. Equivalencia de masa-energía**

Un principio de la Física y la Química afirma que la materia está constituida por átomos y moléculas. Albert Einstein demostró que la masa puede transformarse en energía y la energía puede transformarse en masa según la conocida ecuación:

$$E = M.C^2.$$

**E:** energía **m:** masa **C:** Velocidad de la luz en el vacío (300000 km/ s)

El significado de la anterior ecuación la expresó el propio Einstein: “La masa y la energía son manifestaciones de una misma cosa.” Por lo tanto, en determinadas condiciones o situaciones, la masa se podrá transformar en energía y la energía en masa.

La equivalencia masa-energía está ampliamente comprobada en los seres vivos al estudiar el proceso de respiración, donde la materia orgánica se desdobra y libera energía química, la cual permanece almacenada en las células en forma de ATP. La transformación de energía en materia ocurre en la fotosíntesis, proceso por medio del cual la energía radiante del sol se almacena en materiales orgánicos, especialmente azúcares. Estos productos fotosintéticos representan la base energética de todos los seres vivos del planeta.

Cabe destacar que tanto los organismos estructural y fisiológicamente de avanzada organización como los eucariotas, así como los procariotas están sujetos a la tendencia natural de disminuir el orden energético e incrementar el desorden, esto es, la pérdida de energía sin un aprovechamiento útil. Dicha problemática está explicada por la primera y segunda leyes de la termodinámica, las cuales tratan de los cambios de energía en la naturaleza y el universo mismo (Purves et al, 2001).

### **5.2.1 PRIMERA LEY. CONSERVACION DE LA ENERGIA.**

La primera ley de la conservación de la energía establece que la energía es constante. Durante los procesos químicos y físicos comunes, la energía puede transformarse y transferirse pero no crearse ni destruirse. El Universo es un **sistema cerrado** en lo referente al flujo de energía por cuanto la cantidad actual de energía es la misma que existía cuando se formó el Universo, hace aproximadamente 20.000 millones de años.

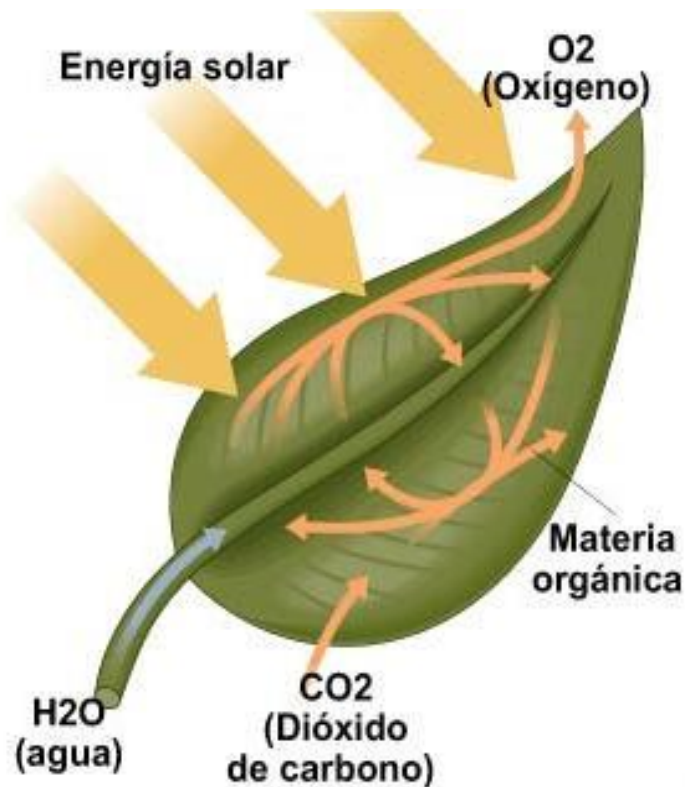
Aunque la energía no se crea ni se destruye, si puede convertirse (por *transducción*) de una forma a otra. Las células también son capaces de realizar la transducción de energía. La energía química almacenada en ciertas moléculas biológicas, como el ATP, se convierte en energía mecánica cuando los organelos se desplazan de un sitio de la célula a otro; en energía eléctrica cuando los iones fluyen a través de la membrana, o en energía térmica cuando se libera calor durante la concentración muscular. (Hammes, 2000).

La transducción energética más importante en el reino biológico es la fotosíntesis, o sea la transducción de luz solar en energía química. Este proceso aporta el combustible que directa o indirectamente impulsa las actividades de casi todas las formas de vida. Diversos animales, incluidas las luciérnagas y peces luminosos, son capaces de convertir energía química de nuevo en luz. Sin embargo, sin importar el proceso de transducción, la cantidad total de energía en el universo permanece constante. (Karp, 2011).

### 5.2.2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA: Entropía.

De acuerdo a la **segunda ley de la termodinámica**, la entropía del universo aumenta de manera constante, entendiéndose por entropía el estado desordenado y al azar de energía no disponible para el trabajo. Tal parámetro es una medida de la casualidad o desorden.

La **segunda ley de la termodinámica** expresa el concepto de que los acontecimientos en el universo se realizan en un mismo sentido o solo tienen una dirección; siempre proceden “cuesta abajo” desde un estado de energía más alta a un estado de energía más baja. Así, en una transformación energética cada vez hay menor energía disponible para efectuar trabajo adicional. (Starr y Taggart, 2004).



**Figura 5.3:** Diagrama que muestra el proceso de fotosíntesis, el cual constituye las transducción energética más importante en los seres vivos.

Las rocas que caen desde el risco hasta el piso, una vez en el piso se reduce su capacidad para efectuar más trabajo; es muy poco probable que puedan elevarse otra vez por sí mismas hasta la cumbre del risco. De manera similar, las cargas opuestas normalmente se mueven para unirse, no para separarse, y el calor fluye desde los puntos más calientes a los cuerpos más fríos, no a la inversa. Se dice que estos acontecimientos son **espontáneos**, término que indica que la termodinámica los favorece y pueden ocurrir **sin el aporte de energía externa**.

El concepto de la segunda ley de la termodinámica originalmente se formuló para máquinas operadas con calor y lleva implícita la idea de que es termodinámicamente imposible construir una máquina de movimiento perpetuo. En otras palabras, es imposible que una máquina rinda 100% de eficacia, condición requerida si la máquina continúa funcionando sin ingreso de energía externa. Inevitablemente pierde algo de energía conforme la máquina efectúa su actividad. Siempre se pierde parte de la energía cuando la máquina realiza su actividad.

Existe una relación similar para los organismos vivos. Así en la respiración oxigénica, la eficiencia es del 50% respecto de la conversión de la energía química de los compuestos orgánicos en ATP. Así mismo, cuando la jirafa ramonea las hojas de un árbol o un león acecha a la jirafa, gran parte de la energía química del alimento nunca quedará disponible para el animal que lo ingiere. Sin un suministro de energía para mantenerse, cualquier sistema organizado tiende a hacerse más desorganizado con el transcurso del tiempo. La **entropía** mide el grado de desorden de un sistema.

Considérense las pirámides egipcias, que con anterioridad tenían una alta organización y en la actualidad están muy destruidas y varios miles de años más tarde se convertirán en polvo. Parece ser que en último término el destino de las pirámides y de todo lo demás del universo es el estado de entropía máximo, y es fundamental recordar este punto acerca de la **segunda ley de la termodinámica**. La entropía se relaciona con los movimientos *aleatorios* de las partículas de la materia, que como son al azar es imposible hacer que realicen un proceso de trabajo *dirigido*. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, cada fenómeno se acompaña de un aumento en la entropía del universo.

Por ejemplo, cuando se deja caer un cubo de azúcar en una taza de agua caliente, existe un desplazamiento espontáneo de moléculas de un estado ordenado en el cristal a una condición mucho más desordenada, cuando las moléculas de azúcar se dispersan en toda la solución. Conforme las moléculas del cubo de azúcar se disuelven en la solución, aumenta su libertad de movimiento, al igual que la entropía del sistema. (Paniagua et al, 2011).

El cambio de un estado concentrado a uno disperso se debe a los movimientos aleatorios de las moléculas. Al final, las moléculas de azúcar se dispersan por igual en todo el volumen disponible porque el estado de distribución uniforme es el estado más probable.

La liberación de calor, como ocurre, por ejemplo, en la oxidación de la glucosa dentro de una célula o por la fricción generada conforme la sangre fluye a través de un vaso, es otro ejemplo de incremento de la entropía. La liberación de energía térmica por organismos vivos sólo sirve para incrementar la velocidad de los movimientos al azar de los átomos y las moléculas; no se puede reorientar para efectuar trabajo adicional. La energía de los movimientos molecular y atómico aumenta con la temperatura y así también se incrementa la entropía. Sólo en el cero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$ ), cuando todo movimiento cesa, la entropía es igual a cero.

Igual que con otros acontecimientos espontáneos, se debe distinguir entre el sistema y su entorno. La segunda ley de la termodinámica sólo indica que la entropía total del universo debe incrementarse; el desorden dentro de una parte del universo (sistema) puede disminuir a expensas de su entorno.

La vida opera sobre un principio similar. Los organismos vivos tienen capacidad para disminuir su propia entropía incrementando la entropía de su ambiente. La entropía disminuye en un organismo cuando moléculas relativamente simples, como los aminoácidos, se ordenan en moléculas más complejas, como la proteína mioglobina de una célula muscular. Sin embargo, al mismo tiempo, la entropía del ambiente aumenta cuando moléculas complejas ordenadas como el glucógeno almacenado en el hígado o en el tejido muscular se convierten en calor y en compuestos más pequeños menos ordenados (como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) que se liberan al ambiente. Esta característica del metabolismo es lo que permite a los organismos vivos mantener un estado altamente ordenado e improbable (Bailey y Bailey, 1995).

Los conceptos de la primera y segunda leyes de la termodinámica pueden contrastarse, puesto que en el primer caso la energía interna del universo se ha conservado porque la energía ganada o perdida por el sistema debe ser igual a la suma del intercambio de energía con el ambiente, más la cantidad de energía empleada en la realización de diversos tipos de trabajo (mecánico, eléctrico, químico, y demás). En el segundo caso, cuando un sistema -puede ser incluso una célula o un organismo multicelular- tiende o alcanza la máxima expresión de energía cinética y logra su equilibrio, estará imposibilitado totalmente para desarrollar cualquier otro tipo de trabajo.

En los organismos vivientes este equilibrio conducirá al aniquilamiento de la vida celular, ya que ningún trabajo biológico sería posible en ese estado; sólo se habría obtenido la máxima entropía. Se puede afirmar que la vida misma es la retroalimentación entre la conservación y la pérdida de energía útil para la célula.

La confrontación reside entre la conservación de la energía útil versus el aumento de la entropía para la realización del trabajo biológico.

Aunque la cantidad total de energía en el Universo permanezca constante, la entropía irá en aumento y cuando solo quede esta forma inútil de energía, el trabajo no será posible y el Universo tendrá su final. (Berg et al, 2007).

### 5.2.3 ENERGÍA LIBRE

Aunque en toda reacción química se pierde algo de energía en forma de calor, en biología es importante considerar la **energía libre** (abreviada como G) que se define como la energía liberada que se utiliza para realizar un trabajo, bajo condiciones estándar o habituales, a saber: pH 7, temperatura 25°C y con todos los reaccionantes y productos a una concentración inicial de 1M.

La energía libre (G) relaciona a la **entropía** (S) con la **entalpía** (H). La entropía y la energía libre guardan relación inversamente proporcional: al aumentar la entropía, disminuye la cantidad de energía libre. Estos dos conceptos se relacionan en la siguiente ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \text{Donde:}$$

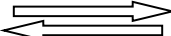
$\Delta G$ = Cambio en energía libre;  $\Delta H$ = Cambio en la entalpía; T= temperatura absoluta en grados Kelvin y  $\Delta S$ = Cambio en la entropía. El símbolo  $\Delta$  significa "cambio en".

Todos los procesos físicos y químicos ocurren con disminución de la energía libre hasta alcanzar un estado de equilibrio, en que la energía libre del sistema es mínima y la entropía, máxima. La energía libre es la útil en sistemas biológicos; en cambio, la entropía es un estado de energía degradada e inútil.

En muchas reacciones bioquímicas son mínimas las diferencias de energía libre entre los reaccionantes y los productos. En consecuencia, siempre y cuando



continúe disponible el aporte de energía externa, gran parte de las reacciones que ocurren en las células vivas (incluidas las importantes reacciones metabólicas) son, en teoría, reversibles. De hecho, la reversibilidad es característica de muchas reacciones bioquímicas, y permite a las células regular la liberación de energía libre conforme a sus necesidades y que muchas de sus grandes moléculas biológicas se constituyan o reciclen de otra manera para que continúe con los procesos metabólicos.

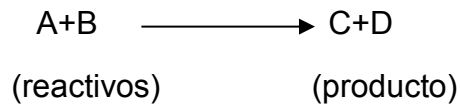
La reversibilidad está indicada por la flecha doble, 

Que ocurra o no una reacción y que proceda de derecha a izquierda o de izquierda a derecha depende de factores como las relaciones de energía de los diversos compuestos químicos participantes, sus concentraciones relativas y su solubilidad (Audersik y Audersik, 2006).

**Concepto de equilibrio dinámico.** Supóngase que el número de habitantes de una ciudad permanece sin cambio durante 5 años. Algunas personas se mudaron a dicha localidad, y otras emigraron de ella o quizá murieron; así pues, el cambio neto de la población es cero. Podría decirse que la población de esta ciudad se encuentra en un estado de equilibrio dinámico: aunque los individuos emigren de la ciudad o ingresen a ésta, el cambio en una dirección es igual al de la dirección opuesta, de modo que el cambio neto equivale a cero.

Considérese una reacción en lo referente al número de moléculas de cada tipo que participa. En el comienzo de la reacción, solo estarían presentes las moléculas reaccionantes. Estas se mueven y entran en colisión una con otra con energía suficiente para reaccionar. Conforme se liberan más y más moléculas de los productos, quedan menos y menos moléculas de los reactivos. Al aumentar el número de moléculas del producto, sus colisiones son más frecuentes y algunas tienen energía suficiente para iniciar una reacción inversa. Así pues, la reacción procede en forma simultánea en ambas direcciones y tarde o temprano alcanza un equilibrio en que el índice de la reacción inversa es casi el mismo que el de su opuesta.

- Se tiene la siguiente reacción química



**La constante de equilibrio termodinámico (K)** representa la razón entre la concentración de los productos de una reacción, en este caso [C] y [D], y la concentración de los reactivos [A] y [B]. Por lo tanto:

$$K = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$$

La constante de equilibrio termodinámico varía en cada reacción y se determina con base en los componentes de ésta para que se alcance la entropía máxima o energía mínima del sistema.

Si  $G_1$  es la energía libre de los reactivos y  $G_2$  es la energía libre de los productos, una reacción estará en **equilibrio** cuando  $G_1 - G_2 = 0$ , es decir, cuando la diferencia de energía libre entre los productos y los reactivos es cero.

Todo cambio que afecte al sistema de la reacción, como la temperatura o la presión, puede desviar el equilibrio. Luego la reacción, procedería en una dirección específica hasta que de nuevo la diferencia de energía libre equivalga a cero y se alcance un nuevo equilibrio (Solomon *et al*, 2011).

#### 5.2.4 REACCIONES EXERGÓNICAS Y ENDERGÓNICAS

Una reacción que genera productos que contienen menos energía libre que los reactivos originales, tiende a ser espontánea. Una **reacción espontánea** es la que puede ocurrir sin adición de energía externa. Las reacciones no siempre son instantáneas, y de hecho pueden ocurrir durante un periodo prolongado. Las reacciones espontáneas liberan energía libre, y por lo tanto, sirven para realizar trabajo y también se denominan **reacciones exergónicas**. Dada la liberación de energía, los productos contienen menos energía que los reactantes. Las

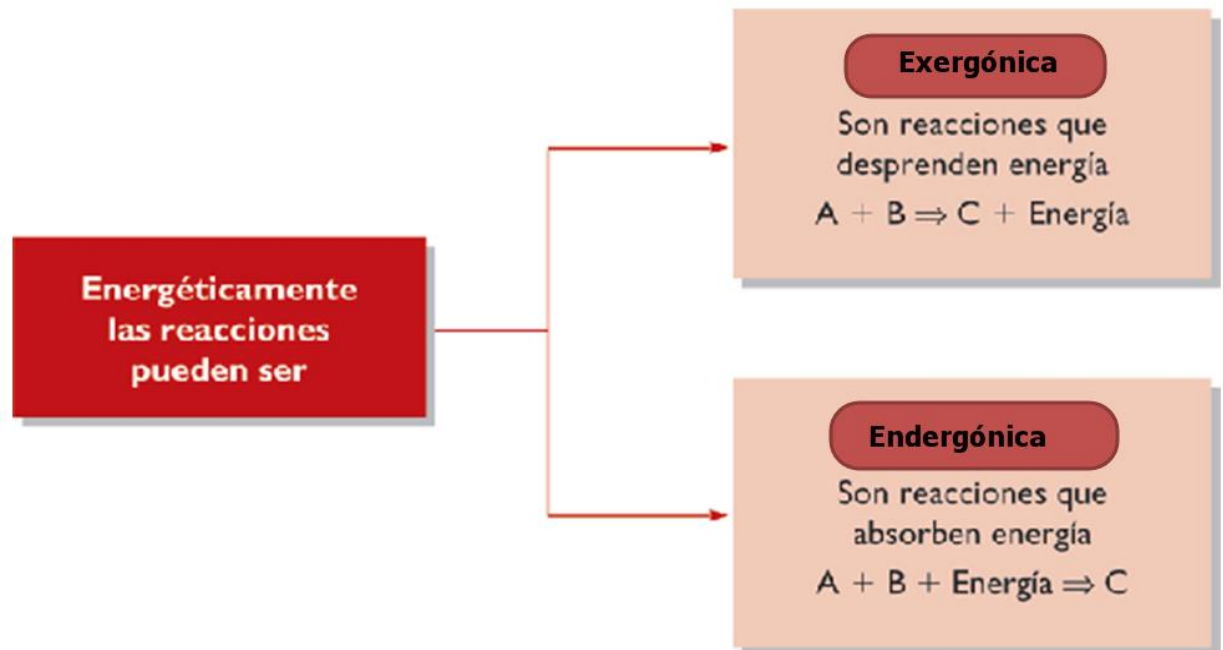
reacciones exergónicas tiene constante de equilibrio  $K$  alta y cambio de energía libre  $\Delta G$  negativo. Ver figura 5.4.

Las reacciones no espontáneas requieren el aporte de energía libre y se califican como **endergónicas**. En éstas se consume energía libre del entorno, como resultado de lo cual, los productos contienen más energía que los reactantes.

Las reacciones endergónicas tienden a  $K$  muy bajo y  $\Delta G$  positivo.

### 5.2.5 REACCIONES ENDOTÉRMICAS Y EXOTÉRMICAS

Si en una reacción el valor del cambio en la energía libre ( $\Delta G$ ) es negativo, significa que la reacción ocurre espontáneamente con liberación de energía;



**Figura 5.4.** Tipos de reacciones químicas según el flujo de energía: Exergónicas y endergónicas

energía que la célula será capaz de conservar en forma de ATP. Será una reacción exotérmica. Sin embargo, si ( $\Delta G$ ) es positiva, la reacción requiere energía y será una reacción endotérmica. Por consiguiente, desde el punto de vista biológico las reacciones exotérmicas producen energía mientras que las reacciones endotérmicas consumen energía (Lehninger, 1995).

En los seres vivos, casi todos los fenómenos físicos o químicos se encuentran acompañados de la transferencia de calor hacia el entorno, o de su absorción desde allí. Muchas de las máquinas utilizadas en las industrias son motores térmicos que liberan energía. Un ejemplo familiar es el de la locomotora primitiva por vapor que resulta de quemar carbón para calentar agua en una caldera. Aunque es una forma útil de energía en los motores, no lo es para transferir o almacenar energía en los sistemas vivos.

En condiciones de presión constante, el calor sirve para el trabajo sólo cuando fluye de una región de mayor temperatura a otra de menor temperatura. En lo fundamental, los organismos vivos son **isotérmicos** (de temperatura uniforme). En otras palabras, no hay un gradiente o diferencia de temperatura entre las diversas partes de una célula o entre las células de un tejido. Las células no pueden funcionar como los motores térmicos, dado que no tienen medios para que el calor fluya de un objeto más caliente a otro más frío.

Si en la reacción:



Entonces la reacción de equilibrio se obtiene cuando:  $G_2 - G_1 = 0$

La constante de equilibrio termodinámico (K) representa la razón entre la concentración de los productos de una reacción [C] y [D] y la concentración de los reactivos: [A] [B]

$$K = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$$

$$[A] \times [B]$$

Las reacciones exergónicas se pueden sintetizar así:

$$G_2 < G_1 \text{ y } K \uparrow \Delta G^-$$

Las reacciones endergónicas se pueden representar así:

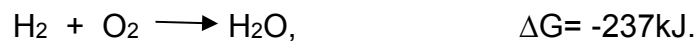


**Tabla 5.1** Comportamiento de la energía en las reacciones exergónicas y endergónicas

Muchas reacciones exotérmicas (de liberación de calor) también son exergónicas, pero cuando el desorden del sistema de la reacción aumenta, se libera más energía libre que lo indicado por la cantidad de calor liberado. Este aumento de la entropía a veces basta para que una reacción endotérmica (de consumo de calor) sea espontánea, tal es el caso de la fusión del hielo y la disolución de algunos sólidos en líquidos (Audersik y Audersik, 2006).

### 5.3 CATALIZADORES Y ENZIMAS

La determinación de la energía libre indica sólo si en una determinada reacción se libera o se consume energía, pero no dice nada acerca de la *velocidad* de la reacción. Considérese la formación del agua a partir del oxígeno e hidrógeno gaseosos. La energía de esta reacción es muy favorable:



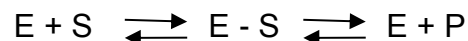
No obstante, si sólo se mezcla  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2$ , la formación de agua no sería detectable en muchos años. Esto se debe a que la reordenación de los átomos de oxígeno y de hidrógeno para formar agua, requieren la rotura previa de los enlaces químicos de los reaccionantes. Tal rotura requiere energía y esa energía se designa como **energía de activación**. La energía de activación es la cantidad mínima de energía indispensable para que se realicen las coaliciones necesarias para que se inicie una reacción. La cantidad real no es la misma en todas las reacciones y las colisiones pueden ser espontáneas o bien promovidas por **enzimas**. La energía de activación constituye una barrera energética que debe vencerse de algún modo para que la reacción proceda.

En el laboratorio, como energía de activación se utiliza a menudo el calor, pero en una célula ocurren muchas reacciones diferentes al mismo tiempo y el calor las

afectaría a todas indiscriminadamente. A demás, el calor rompería puentes de hidrógeno y produciría en la célula otros efectos generalmente destructivos. Las células evitan este problema utilizando **enzimas**, que son proteínas globulares especializadas para actuar como catalizadores.

Un **catalizador** es una sustancia que disminuye la energía de activación necesaria para una reacción formando una asociación pasajera con las moléculas que reaccionan. Esta asociación temporal acerca a las moléculas que reaccionan y también puede debilitar los enlaces químicos existentes, facilitando la formación de otros nuevos. La disminución de la energía de activación debida a la acción del catalizador es similar a la cantidad de energía que posee la mayoría de las moléculas que intervienen en una reacción química. Como resultado, la reacción ocurre más rápidamente en presencia de un catalizador. El catalizador mismo no sufre ninguna alteración permanente en el proceso y se puede volver a utilizar repetidamente (Curtis y Barnes, 2000)

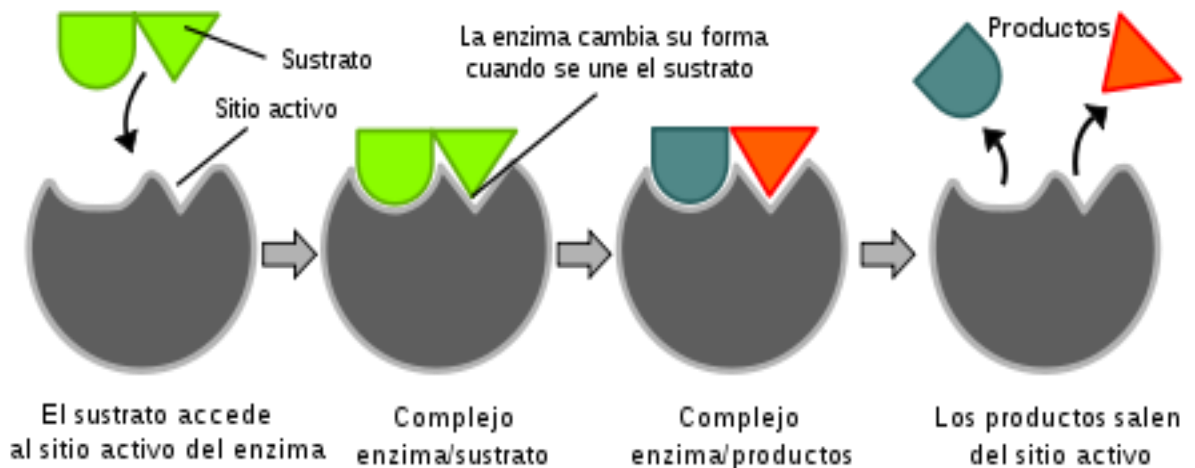
En los organismos vivos la mayoría de las reacciones no tendrían lugar a una velocidad apreciable sin los catalizadores. Los catalizadores de las reacciones biológicas son proteínas llamadas **enzimas**. Las enzimas son muy específicas para las reacciones que catalizan. Es decir, cada enzima cataliza solamente un *único tipo* de reacción química o, en el caso de algunas enzimas, una *clase* de reacciones estrechamente relacionadas. Esta especificidad se debe a la estructura tridimensional de la molécula de la enzima. En una reacción catalizada enzimáticamente, la enzima se combina temporalmente con el reaccionante, que se denomina **sustrato** (S) de la enzima, para formar un **complejo enzima-sustrato**. Luego, cuando ocurre la reacción, el **producto** (P) se libera y la enzima (E) vuelve a su estado original:



Por lo general, la enzima es mucho más grande que el sustrato y la combinación enzima-sustrato suele depender de enlaces débiles tales como puente de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas. La pequeña porción de la enzima que se une al sustrato constituye el sitio activo de la enzima. Ver Figura 5.5.

Cada enzima contiene uno o más **sitios activos**, que son bolsas o hendiduras donde se enlazan los sustratos y se catalizan reacciones específicas. Los

reactivos para una enzima (llamados **sustratos**) tienen una región superficial complementaria en forma, tamaño, solubilidad y carga al sitio activo. Esta adaptación complementaria es el motivo por el cual la enzima identifica en forma selectiva su sustrato entre las miles de sustancias en la célula (Curtis y Barnes, 2000).



**Figura 5.5:** Diagrama que muestra la relación entre el sustrato y la enzima.

Desde el punto de vista químico, las enzimas son proteínas globulares complejas de elevado peso molecular (12.000 hasta más de 1.000.000 de daltons) formadas por una o más cadenas polipeptídicas.

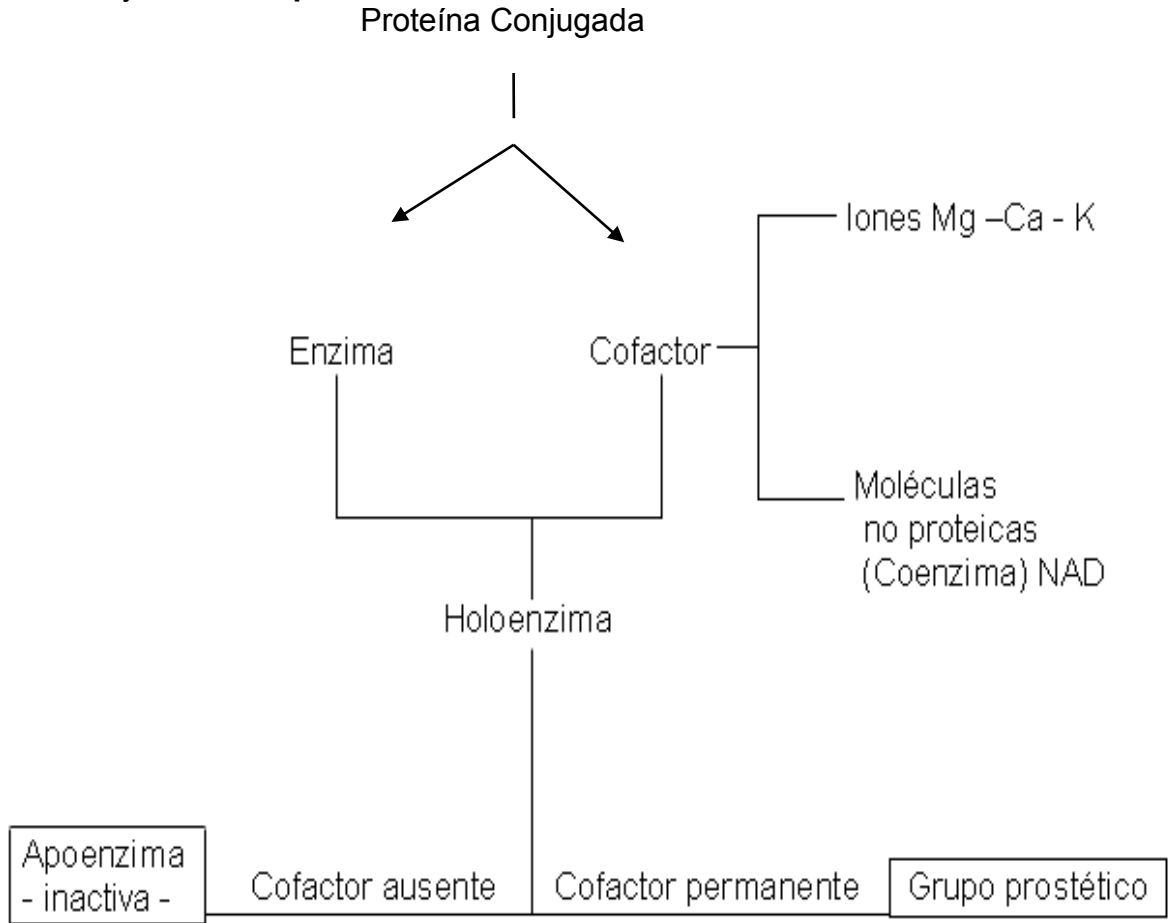
Debido a su estructura las enzimas se producen bajo el control del ADN. Ellas son las efectoras de la información genética contenida en el ADN, y es a través de ellas que el ADN dirige todo el metabolismo celular. Aunque prácticamente todas las moléculas enzimáticas sean proteínas, existen algunos ARN que poseen actividad enzimática, constituyendo una excepción a la regla general. Semejante a otras proteínas, el funcionamiento de las proteínas depende de su estructura primaria y su estructura tridimensional final. (Ringe y Petsko, 2008).

Numerosas enzimas son proteínas **conjugadas**, es decir, contienen otras sustancias además de los aminoácidos. Estos otros compuestos no proteínicos de las enzimas se denominan **cofactores**, y pueden ser **inorgánicos** (iones metálicos) y **coenzimas**, compuestos orgánicos complejos no polipeptídicos. La parte activa de muchas coenzimas contienen vitaminas del grupo B, como riboflavina, tiamina, ácido pantoténico y nicotinamida. Ver Figura 5.6.

Al contrario de la propia enzima, que siendo proteína es desnaturalizada e inactivada por temperaturas elevadas, en general las coenzimas son

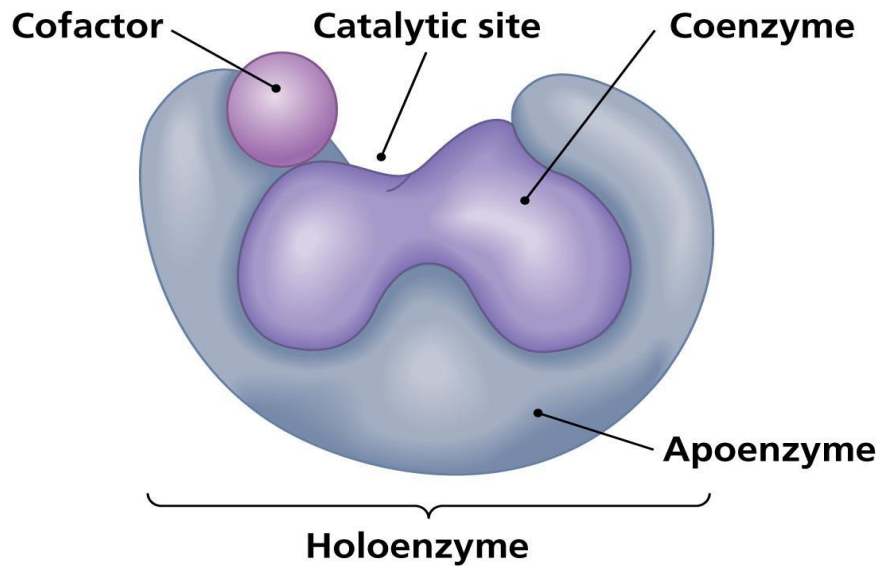
termostables.

Algunos cofactores están ligados de forma íntima y permanente a la molécula de la enzima, mientras que otros se unen a ella temporalmente, durante la acción enzimática. El complejo formado por la enzima con el cofactor, independientemente del grado de unión química entre ellos, se llama **holoenzima**. Al remover el cofactor, queda la parte proteica de la enzima, que es entonces inactiva y se llama **apoenzima**.

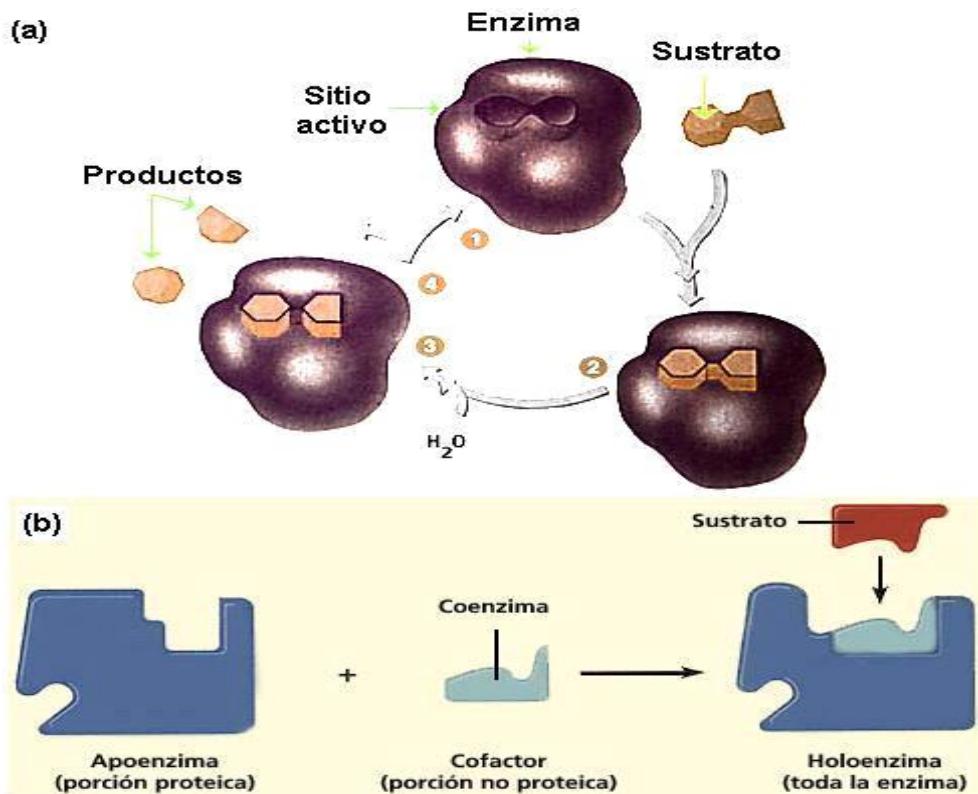


**Figura 5.6** Enzimas y cofactores. Algunas enzimas necesitan de otros compuestos denominados cofactores para ejercer su actividad.





**Figura 5.7:** Diagrama que muestra el complejo formado por una enzima con cofactores presentes.



**Figura 5.8** Representación gráfica del complejo enzima-sustrato. a) Secuencia de una reacción enzimática: 1) La enzima está disponible, con su sitio activo libre. 2) El sustrato se une a la enzima. 3) El sustrato es procesado (hidrólisis en este ejemplo). 4) Los productos de la reacción son liberados. b) Requerimiento de coenzima o cofactor en una

reacción enzimática.

Los iones metálicos, coenzimas o ambos a menudo se encuentran enlazados tan fuertemente en el sitio activo que constituyen **grupos prostéticos** y son tan importantes desde el punto de vista funcional como una prótesis para una persona con una amputación. Por ejemplo, en la mioglobina el átomo de hierro del grupo hem es el sitio donde se une y almacena el oxígeno hasta que el metabolismo celular lo requiera.

**5.3.1 Denominación.** En la nomenclatura química, los nombres de las enzimas se forman al añadir el sufijo **asa** al nombre del sustrato sobre el cual actúa. Por ejemplo, la sacarosa se degrada mediante la enzima sacarasa para formar glucosa y fructosa. Por otra parte, hay nombres de grupo para enzimas que catalizan reacciones similares. Así las lipasas desdoblan los triglicéridos, las proteinasas a los enlaces peptídicos de las proteínas y las deshidrogenasas transfieren átomos de hidrógeno de un compuesto a otro. Algunas enzimas, entre las más estudiadas, se conocen por nombres que no siguen esta regla. Por ejemplo, la pepsina y la tripsina son enzimas que hidrolizan proteínas. (Nelson y Cox, 2005).

Clase	Nombre	Acción Catalítica	Ejemplos
1	Oxirreductasas	Reacciones en las cuales un compuesto es reducido y otro, oxidado.	Deshidrogenasas, oxidasas, peroxidasas.
2	Transferasas	Transferencia de grupos químicos de una molécula a otra.	Transaminasas, transmetilasas.
3	Hidrolasas	Rompimiento de moléculas con adición de agua	Peptidasas, fosfatasas esterasas.
4	Liasas	Eliminación de un grupo químico originando un enlace doble en el sustrato; o adición de un grupo a un enlace doble que es así quebrado.	Descarboxilasas, desaminasas.
5	Isomerasas	Reorganizaciones intramoleculares que modifican la estructura tridimensional del sustrato.	Racemasas, epimerasas
6	Ligasas	Unión de dos moléculas, con hidrólisis de ATP u otro compuesto rico en energía	Acetil – coenzima A sintetasa, piruvato carboxilasa.

**Tabla 5.2.** Clases principales de enzimas

**5.3.2 Propiedades de las enzimas.** Como es común a todos los catalizadores, las enzimas poseen las siguientes características:

- **Poca cantidad en la reacción.** Solo se necesita una pequeña cantidad de enzimas para que se efectúe determinada reacción.
- **Inalterabilidad en la reacción.** Las enzimas no se alteran durante la reacción, por lo que cada molécula de enzima puede participar varias veces en reacciones individuales.
- **Actividad catalítica alta.** Los catalizadores usuales (ácido, platino, metálico y magnesio), a menudo aceleran las reacciones cien a mil veces con respecto a la velocidad sin catalizador. En cambio, las enzimas casi siempre aumentan la velocidad de una reacción  $10^8$  a  $10^{13}$  veces. Con base en estas cifras, las enzimas pueden lograr en un segundo (1 s) lo que requeriría entre tres y 300.000 años, si la enzima no existiera. Lo que es aún más notable, realizan este proceso a la temperatura ambiente y con el pH que existe en el interior de la célula.

- **Especificidad de alto nivel.** Las enzimas son muy específicas con respecto a los sustratos con los que se unen y la reacción que catalizan. En general, las enzimas participan en un solo tipo de reacción. En esencia, cada una de las reacciones químicas de la célula es promovida por una enzima distinta. Por ejemplo, la enzima hexocinasa se encuentra en solución con cien compuestos de bajo peso molecular, además de su sustrato, la glucosa. Sin embargo, la enzima sólo reconocerá las moléculas de glucosa y las someterá a la reacción (Voet y Voet, 2004).

Para todos los fines prácticos, los otros compuestos bien podrían estar ausentes. Este tipo de especificidad, ya sea entre enzimas y sustratos o entre otros tipos de proteínas y las sustancias con que se unen, es definitiva para mantener el orden requerido a fin de sostener la vida.

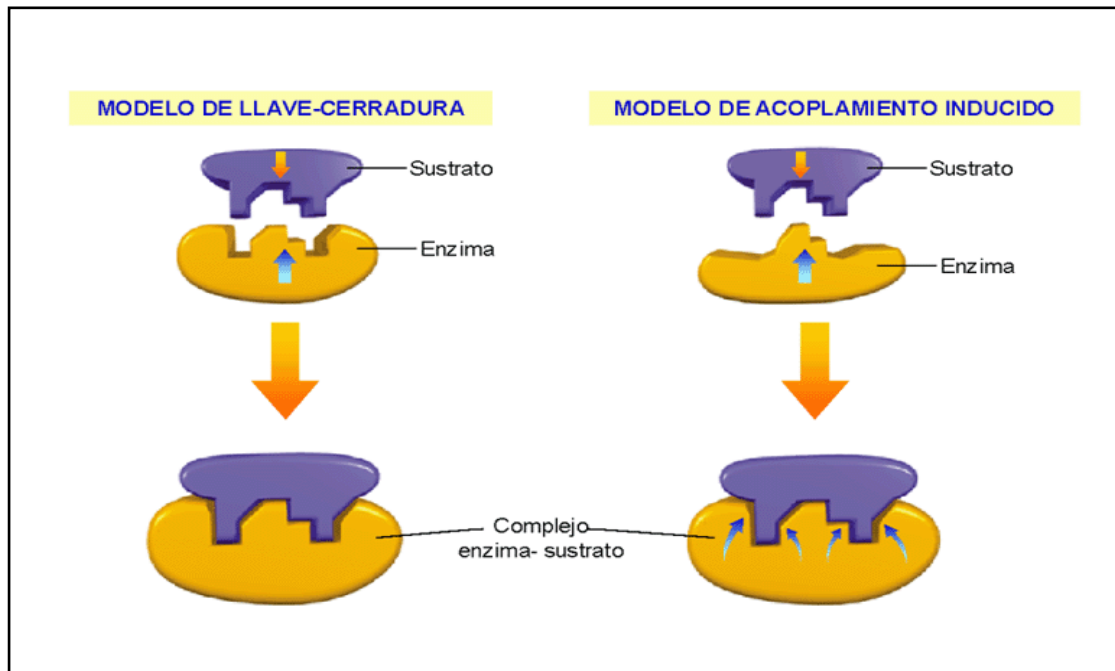
- **Efecto termodinámico ausente.** Las enzimas no aportan energía para una reacción química, por lo que no determinan si una reacción tiene características termodinámicas favorables o desfavorables. De igual manera, las enzimas no determinan la proporción entre productos y sustratos en equilibrio. Éstas son propiedades inherentes de los compuestos en reacción. Como catalizadores, las enzimas sólo pueden aumentar la velocidad en la que procede una reacción química favorable.
- **Conductoras de las vías metabólicas.** Las enzimas actúan como conductoras de las vías metabólicas o rutas bioquímicas en el sentido de que las reacciones catalizadas por enzimas son muy ordenadas; los únicos productos formados son los apropiados. Esto es muy importante porque la formación de metabolitos afectaría pronto la vida de una célula frágil. A diferencia de otros catalizadores, la actividad de las enzimas puede regularse para cubrir las necesidades particulares de una célula en un momento determinado. (Benkovic y Hammes-Schiffer, 2003)

**5.3.2 Modelos de acción enzimática.** La forma y la estructura de una enzima determinan la reacción que pueden catalizar. Se han propuesto dos modelos para explicar la actividad enzimática:

- El modelo de la llave y la cerradura.
- El modelo del ajuste inducido.

Según el modelo de la llave – cerradura (ver figura 5.9), en una reacción química la enzima se une, durante algún tiempo, con el sustrato sobre el que puede actuar. La enzima (E) difiere en forma y estructura de las demás enzimas. El sitio activo, un área especial de la enzima, se une con uno o más sustratos específicos, (S).

Nótese que el sustrato tiene una forma molecular que se ajusta al sitio activo. La enzima se une al sustrato para formar un complejo **enzima – sustrato** (E – S). En el sitio activo, la enzima y el sustrato se ajustan perfectamente tal como lo hace una llave en una cerradura. Cuando se forma el complejo E – S la energía de activación disminuye. Esta energía de activación menor permite que la reacción ocurra más rápidamente que si no estuviese presente la enzima. Ver Figura 5.9.



**Figura 5.9:** Diagrama en que se presenta modelos de acción enzimática. A la izquierda: modelo de llave-cerradura y a la derecha: modelo de ajuste inducido.

Existe un segundo modelo de actividad enzimática que difiere algo con el modelo de la llave – cerradura y es el denominado **modelo de ajuste inducido** en el que se sugiere que el sitio activo es considerablemente más flexible que el ojo de una cerradura. Ver figura 5.9

Cuando los sustratos están cerca de la proteína, pueden causar cambios en la estructura del sitio activo que le permite a este ajustarse a la forma del sustrato de manera similar a como se cambia la forma de un guante al ajustarlo en la mano. Esto induce a un mejor acoplamiento del sustrato en el sitio activo y provoca una tensión en la molécula del sustrato que facilita la reacción, después de lo cual se liberan los productos. (Curtis y Barnes, 2000).

**5.3.3. Regulación de la actividad enzimática.** Entre las actividades metabólicas de la célula se encuentra el grado en que cada célula regula la síntesis de los productos necesarios para su bienestar en las cantidades y velocidades

requeridas, evitando la sobreproducción que desperdiciaría tanto energía como materias primas. Esta regulación depende, a su vez, de la regulación de la actividad enzimática.

Las concentraciones de moléculas de enzimas y sustratos, al igual que la disponibilidad de cofactores, son los principales factores que limitan la acción enzimática. A causa de estas limitaciones, la mayoría de las enzimas probablemente trabaja a una velocidad muy por debajo de la máxima. Más aún, muchas enzimas son degradadas rápidamente por otras enzimas que hidrolizan enlaces peptídicos. Para la célula, un medio altamente eficiente de regulación de estas enzimas que son rápidamente degradadas consiste en producirlas solo cuando se necesitan.

Algunas enzimas se producen en forma inactiva y sólo se activan en el momento exacto en que se necesitan, usualmente por acción de otra enzima. La quimotripsina, una enzima digestiva, es controlada de esta manera. Es sintetizada por células del páncreas en forma de quimotripsinógeno inactivo, que está formado por una sola cadena polipeptídica muy larga.

Cuando esta molécula se libera en el intestino delgado, donde realiza su trabajo digestivo, la enzima tripsina corta dipéptidos en dos puntos de la cadena. Los tres segmentos resultantes constituyen la molécula de quimotripsina activa. De esta manera se impide que las moléculas de quimotripsina (y de otras enzimas digestivas) digieran las proteínas de las células en las cuales son sintetizadas. (Overmire, 2010).

**Efectos de la temperatura y del pH.** Un incremento en la temperatura aumenta la velocidad de las reacciones químicas no catalizadas. Este efecto de la temperatura vale también para las reacciones catalizadas por enzimas, pero sólo hasta cierto punto. La velocidad de la mayoría de las reacciones enzimáticas se duplica aproximadamente por cada 10° C de aumento en la temperatura, y luego cae muy rápidamente por encima de los 40° C. El incremento en la velocidad de la reacción ocurre porque a temperaturas mayores, hay más moléculas de sustrato que poseen suficiente energía para reaccionar.

La disminución de la velocidad de la reacción ocurre cuando, por la alta temperatura, aumentan el movimiento y la vibración de la propia molécula de la enzima, rompiendo los puentes de hidrógeno y otras fuerzas relativamente frágiles que mantienen su estructura terciaria. Una molécula que ha perdido de esta manera su estructura tridimensional característica, se dice que está **desnaturalizada**.

Las enzimas parcialmente desnaturalizadas (en las cuales la estructura solo está ligeramente distorsionada) recuperan su actividad al ser enfriadas lo cual indica que sus cadenas polipeptídicas han vuelto a adaptar la configuración necesaria para funcionar. Sin embargo, si la desnaturalización es severa, se torna

irreversible y deja a las cadenas polipeptídicas permanentemente enredadas e inactivadas.

En cuanto a las enzimas humanas, la temperatura óptima es cercana a la corporal, es decir, alrededor de 35° C. Cuando la temperatura aumenta o desciende por debajo del rango de tolerancia, el metabolismo se altera. Esto es lo que ocurre cuando una persona tiene fiebre muy alta. En general, una persona no sobrevive cuando la temperatura de su organismo llega a 44° C.

El efecto de la temperatura tiene gran importancia práctica, toda vez que el frío deprime la actividad enzimática, retardando los procesos de lisis celular y el deterioro de muestras de tejidos, sangre, orina, etc. utilizadas en exámenes de laboratorio. En el trasplante de órganos es común el uso de temperaturas bajas para una mejor preservación de los tejidos que serán trasplantados.

Temperaturas muy bajas obtenidas generalmente con el uso de nitrógeno líquido (punto de ebullición -195,8°C) son utilizadas de rutina en la preservación de cultivos de tejidos, muestras de tejidos para un posterior análisis bioquímico, semillas de plantas, espermatozoides para inseminación artificial y embriones para trasplante (Mader, 2008).

**Efectos del pH:** El pH de la solución circundante también afecta la actividad enzimática. La conformación de una enzima depende, entre otros factores, de la atracción y la repulsión entre los aminoácidos cargados negativamente (ácidos) y los cargados positivamente (básicos). Cuando el pH cambia, estas cargas también lo hacen y con ellas cambia la configuración de la enzima, hasta que se altera tan drásticamente, que ya no es funcional.

La mayoría de las enzimas funcionan mejor cuando el pH oscila entre 6 y 8. Sin embargo, el pH óptimo de una enzima no es igual al de otra. Por ejemplo, la **tripsina** tiene la actividad en el intestino delgado, donde el pH es cerca de 8. Por otro lado, la enzima digestiva **pepsina** funciona con pH muy ácido del estómago (de 1 a 2), en un ambiente donde la mayoría de las otras proteínas serían desnaturalizadas permanentemente. Este hecho podría no ser un “descuido” sino una forma de regulación que amortigua la actividad la actividad enzimática. (Hammes, 2000).

En humanos y otros organismos multicelulares, el control de la actividad enzimática es algo sorprendente. Las células no sólo funcionan para mantenerse vivas, ¡sino que funcionan de manera coordinada con otras células para beneficiar a todo el organismo! Cierta aspecto de este amplio trabajo celular se basa en hormonas, un tipo de moléculas señalizadoras.

Las células especializadas liberan hormonas, y cualquier célula que tenga

receptores para una hormona específica, responderá a ella y su programa para elaboración de alguna proteína o alguna otra actividad se modificará. La hormona hace que los controles de la célula comiencen a funcionar y la actividad de las enzimas aumente o se haga más lenta.

#### 5.3.4 Las enzimas en la industria

Cada organismo genera una variedad considerable de enzimas, la mayoría de las cuales solo se fabrican en pequeñas cantidades y están implicadas en procesos metabólicos particulares. Sin embargo, algunos microorganismos tales como bacterias y hongos producen ciertas enzimas en cantidades muy elevadas y en vez de mantenerlas dentro de sí, las expulsan al medio. Normalmente estas enzimas extracelulares desdoblan macromoléculas insolubles tales como celulosa, proteínas o almidón, siendo transportados los productos de la digestión al interior de la célula, en donde son utilizados como nutrientes para el crecimiento (Solomon *et al*, 2011).

Algunas de estas enzimas extracelulares se utilizan en las industrias alimentaria, farmacéutica y textil y se producen en gran cantidad por síntesis microbiana. Ejemplo: la amilasa, que digiere el almidón, proviene de los hongos y es utilizada en la fabricación del pan. Ver Figura 5.10.



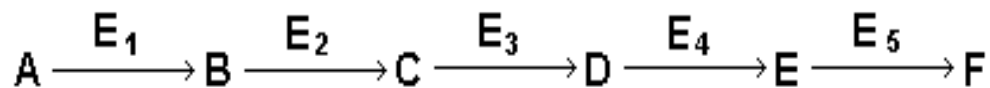
**Figura 5.10.** Las enzimas secretadas por microorganismos (levaduras) sirven para elaborar productos como el queso y el guarapo.

#### 5.4 METABOLISMO Y VÍAS METABÓLICAS



El conjunto de reacciones químicas de las células que les permite realizar sus actividades biológicas constituyen el **metabolismo** de un organismo. Se define como **metabolismo** la totalidad de las transformaciones químicas y de energía que ocurren en los organismos vivos.

El conjunto de reacciones que ocurren dentro de un organismo se pueden agrupar en las denominadas **vías metabólicas** o **rutas bioquímicas**. Cada vía metabólica es una secuencia de reacciones químicas, cada una catalizada por una enzima específica. El producto de una reacción catalizada por enzimas se convierte en el sustrato de la próxima enzima en la sucesión. Muchas vías metabólicas contienen hasta treinta reacciones promovidas por treinta enzimas diferentes. El metabolismo de un organismo está conformado por todas las vías metabólicas que tienen lugar dentro de su cuerpo.



**Figura 5.11** En una vía metabólica cada enzima interviene en una reacción específica.

Cada organismo posee un conjunto único de vías metabólicas determinadas por un grupo único de enzimas, las cuales, a su vez, son resultado de un conjunto único de genes. La presencia o la ausencia de una enzima particular tiene un efecto notable sobre el organismo. Por ejemplo, algunas personas tienen la enzima que digiere la lactosa y otros no, por lo cual, la ingestión de leche para estas últimas ocasiona desarreglos digestivos.

Las enzimas que constituyen una vía metabólica de ordinario se confinan a una porción específica de la célula, como las mitocondrias y el citoplasma. Cada vez hay más pruebas que sugieren que las enzimas de una vía metabólica están físicamente unidas entre sí, característica que permite entregar el producto de una enzima directamente como sustrato al sitio activo de la siguiente enzima en la secuencia de reacciones.

Los compuestos formados en cada paso a lo largo de la vía son **intermediarios metabólicos** (o **metabolitos**) que en último término conducen a la formación de un **producto final**. Los productos finales son moléculas con un papel particular en la célula, como un aminoácido que puede incorporarse a un polipéptido, o un azúcar que se puede consumir por su contenido energético. Las vías metabólicas de una célula están interconectadas en diferentes puntos, de modo que un

compuesto generado en una vía se puede repartir en varias direcciones según las necesidades de la célula en ese momento (Spiro y Stigliani, 2007)

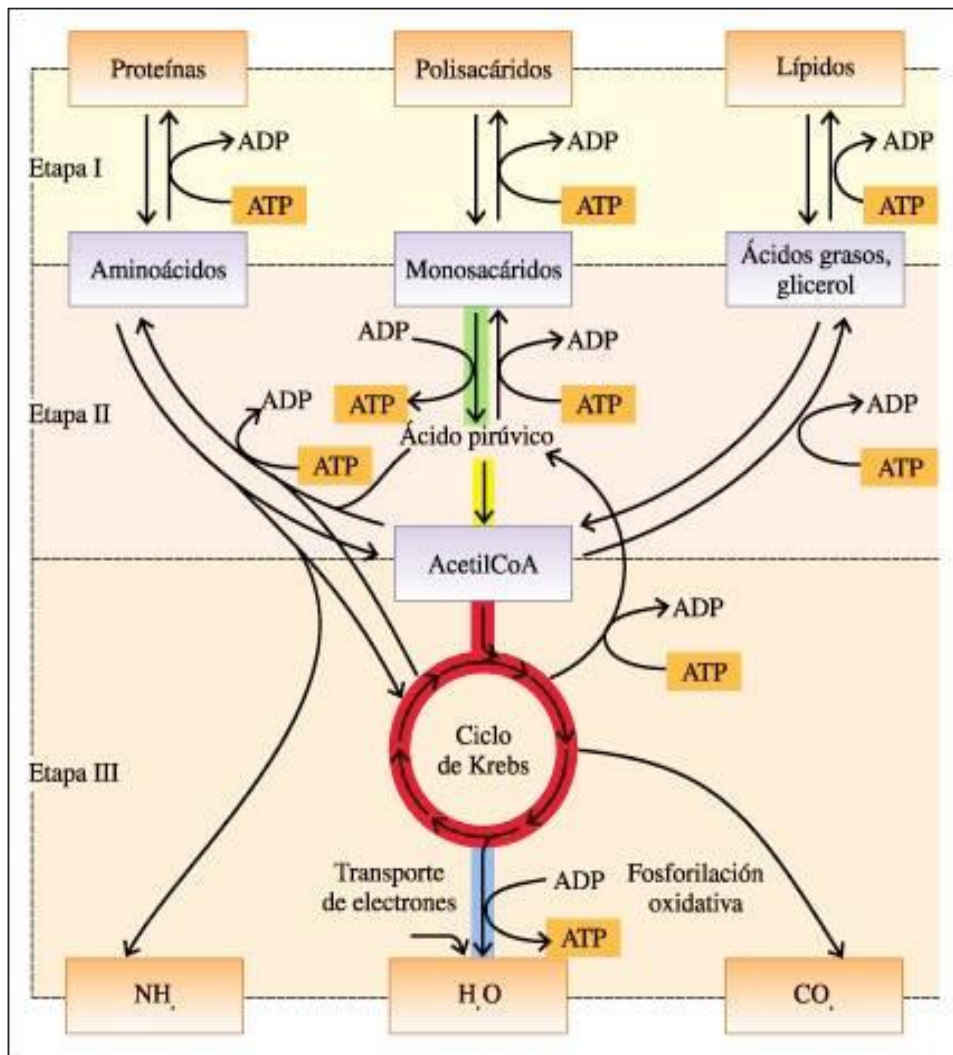
Las reacciones químicas dentro de una célula están regidas por las mismas leyes termodinámicas que controlan cualquier otra reacción. Entonces, ¿cómo se llevan a cabo las vías metabólicas de una manera ordenada? La bioquímica de las células está adaptada de tres maneras:

- Las células regulan las reacciones químicas mediante el uso de catalizadores proteicos llamados enzimas.
- Las células asocian reacciones, haciendo que las reacciones endergónicas que requieren energía se realicen con la energía liberada por las reacciones exergónicas.
- Las células sintetizan moléculas portadoras de energía que capturan la energía de las reacciones exergónicas y la llevan a las reacciones endergónicas.

Las vías metabólicas se pueden dividir en dos tipos muy amplios.

- Vías catabólicas.
- Vías anabólicas.

**5.4.1 Vías catabólicas**, comprenden la degradación de polímeros orgánicos complejos para formar monómeros sencillos. Las vías catabólicas tienen dos



**Figura 5.12:** Diagrama que muestra las etapas del metabolismo celular.

funciones: poner a disponibilidad la materia prima a partir de la cual se pueden sintetizar otras moléculas y suministrar la energía química requerida para muchas actividades de la célula. La energía liberada por las vías catabólicas se almacena transitoriamente en dos formas: como fosfatos de alta energía (sobre todo ATP) y como electrones de alta energía (en particular en el NADPH) (Karp, 2011).

**5.4.2 Vías anabólicas**, conducen a la síntesis de compuestos más complejos, requieren energía y utilizan la energía química almacenada que se libera en vías catabólicas exergónicas. En la figura 3.11 se muestra un perfil muy simplificado de las tres etapas del metabolismo. En la etapa I los polímeros orgánicos (proteínas, polisacáridos, lípidos) primero se degradan (hidrolizan) en moléculas simples (monómeros) de los que están hechos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos).

En la etapa II, la célula utiliza directamente los monómeros obtenidos en la etapa previa para formar otros polímeros de la misma clase o convertirlos en compuestos distintos para obtener otros productos. En la etapa III, los metabolitos, obtenidos en las etapas anteriores se degradan aún más y conducen a la síntesis de ATP.

Las vías para la degradación de los diversos componentes de las macromoléculas varían según el compuesto particular que debe catabolizarse. Sin embargo, finalmente todas estas moléculas se convierten en una variedad de pequeños compuestos que se metabolizan de manera similar. Así, aunque las sustancias empiezan como macromoléculas con estructuras muy diferentes a través de las vías catabólicas, se convierten en los mismos metabolitos de bajo peso molecular. Por esta razón, se dice que las vías catabólicas son convergentes.

Las reacciones químicas y las vías metabólicas se observan casi en toda célula viva, desde la bacteria más simple hasta el animal o vegetal más complejo. Es evidente que estas vías aparecieron muy pronto en la evolución de las células procariotas y se han estacionado todo el curso de la evolución biológica. (Curtis y Barnes, 2000).

## **5.5 FLUJO DE ENERGÍA EN LOS SERES VIVOS.**

Las tres fases principales en el flujo de energía biológica son:

- (1) Fotosíntesis
- (2) Respiración
- (3) Trabajo biológico

## **5.6 FOTOSÍNTESIS.**

Mediante el proceso bioquímico de la fotosíntesis se realiza la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía química y se lleva a cabo en los cloroplastos de las células eucarióticas de las plantas verdes y de las algas o en los tilacoides y el citoplasma de las células procarióticas de algunas bacterias.

Comprende tanto la recepción de la energía lumínica, su conversión en energía

química (ATP y NADPH) así como la fijación del bióxido de carbono en compuestos orgánicos (Barber, 1992).

Las principales materias primas en la fotosíntesis son el agua y el bióxido de carbono. Utilizando la energía que las moléculas de la clorofila atrapan de la luz solar, la molécula de agua se rompe, el oxígeno se libera y el hidrógeno se combina con el bióxido de carbono para formar moléculas de carbohidratos. Las reacciones de la fotosíntesis se pueden resumir así:



La mayor parte de la luz del sol que llega a la tierra es reflejada de vuelta al espacio, contribuyendo al bienestar del hombre al iluminar y calentar la atmósfera del planeta. Las plantas capturan sólo cerca del 2% de la luz solar disponible y la mitad de ésta se consume en el proceso fotosintético. Así, las necesidades de energía biológica sobre la tierra son satisfechas por un 1% de la luz disponible.

En esta unidad se limita el estudio de la fotosíntesis tal como se realiza en las plantas terrestres. En estos vegetales, la fotosíntesis se lleva a cabo dentro de organelos especializados llamados **cloroplastos**, los cuales se encuentran principalmente en las hojas de las plantas. La fotosíntesis ocurre donde quiera que existan plantas verdes, desde la cima de una montaña hasta las praderas y del Ártico al Ecuador. Los hongos carecen de clorofila y, por tanto, no pueden fotosintetizar. Ver Figura 5.13.

La fotosíntesis es un proceso fundamental para la vida. Sus productos, los azúcares, proporcionan energía y las estructuras de carbono para los demás seres vivos. La energía química se necesita para hacer el trabajo celular y las estructuras de carbono son las bases de todas las moléculas orgánicas. El proceso fotosintético se presenta en plantas, algas y ciertos tipos de bacterias (Alexander *et al*, 1992).

La fotosíntesis comprende una sucesión de más de setenta reacciones bioquímicas que ocurren en dos fases:

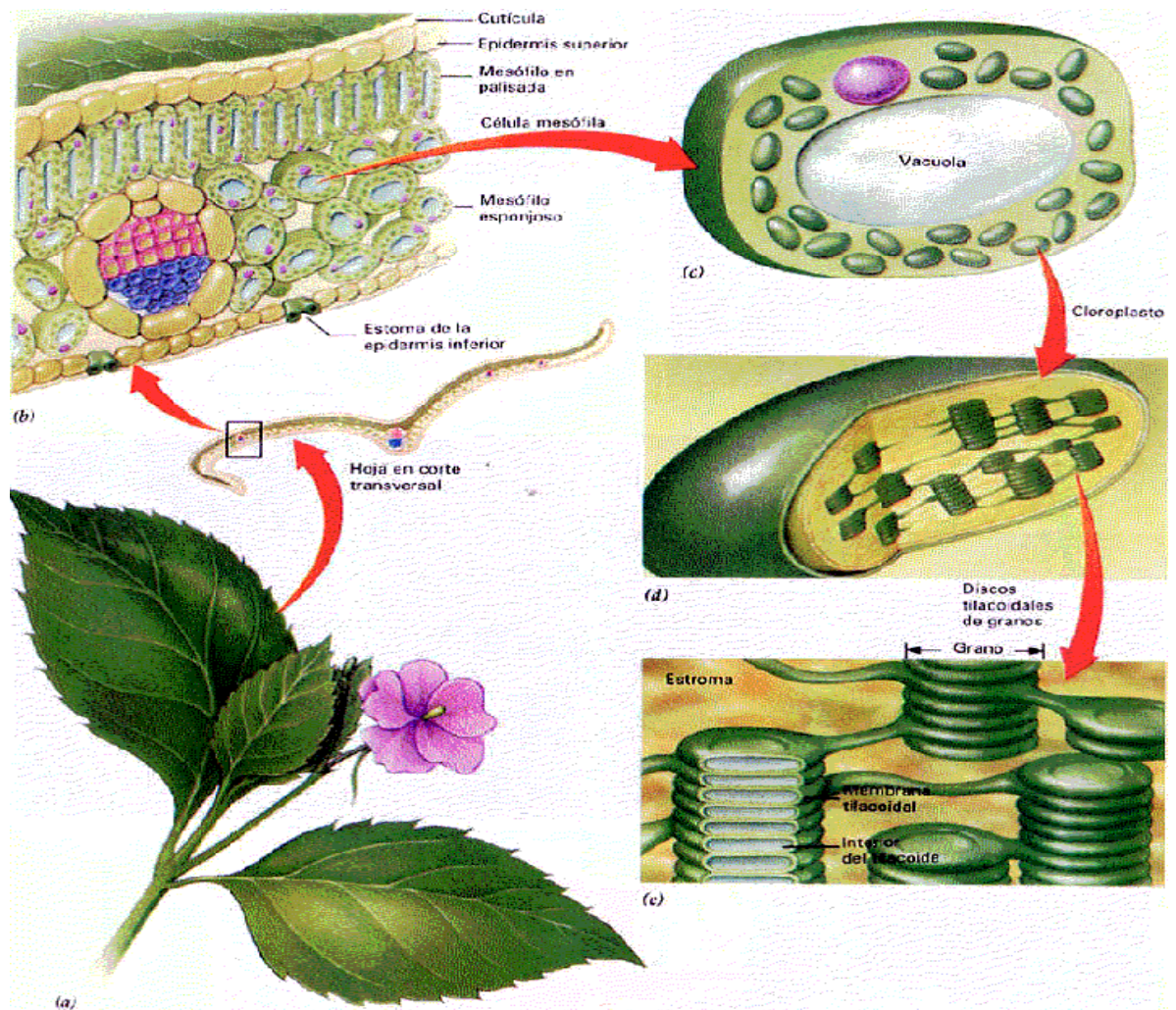
**Primera:** Comprende las reacciones **foto dependientes** (o fase lumínica) en las cuales la energía lumínica se convierte en energía química, y ocurren en los grana del cloroplasto.

**Segunda:** Las reacciones **foto independientes** (o fase oscura) se presentan en el estroma del cloroplasto y por medio de ellas la energía química se usa para convertir en azúcar el bióxido de carbono. Ver Figura 5.14.

#### **5.6.1. Reacciones foto dependientes.**

Durante esta fase de la fotosíntesis la luz incide sobre la clorofila de tal forma que se produce una excitación de los electrones para que ocupen niveles energéticos superiores. En una serie de reacciones (a través de un proceso similar al transporte electrónico), la energía se transforma en ATP y NADPH (Gregory, 1989).

Las reacciones que se presentan en esta fase foto dependiente son las siguientes:



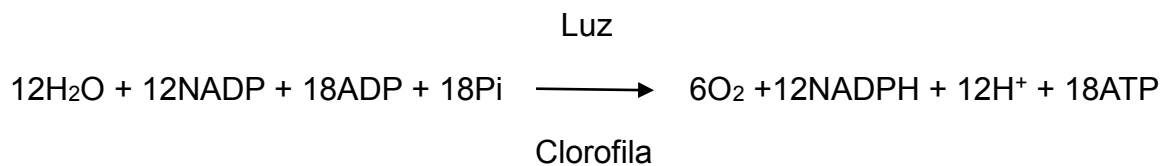
**Figura 5.13** Localización de la fotosíntesis. a) La fotosíntesis ocurre principalmente en los tejidos verdes de las hojas. b) Corte transversal de una hoja en donde se muestra el mesófilo, el cual constituye el tejido fotosintético principal. c) Una célula mesofílica posee numerosos cloroplastos. d) Cada cloroplasto está rodeado de una membrana doble con numerosos tilacoides membranosos. e) Estructura interna del cloroplasto. Tomado de Curtis y Barnes, 2000

- La clorofila y otras moléculas de pigmento presente en las granas del cloroplasto absorben la energía luminica.
- Esto aumenta la energía de ciertos electrones en las moléculas de los pigmentos activándolos. Esto los lleva a un nivel de energía más alto. A medida que los electrones de los pigmentos llegan a un nivel de energía más bajo, liberan energía.
- Los electrones regresan a un nivel de energía más bajo al pasar por una cadena de transporte de electrones, en forma muy parecida a lo que ocurre en la respiración celular. En el proceso de liberación de energía de los electrones,

se produce ATP. En otras palabras, la energía de los electrones se convierte en energía utilizable (ATP) en los cloroplastos. El ATP que se produce en las reacciones dependientes de luz se utiliza en las reacciones fotoindependiente de la fotosíntesis.

La producción de ATP no es el único resultado de las reacciones dependientes de luz. También en esta etapa el agua se rompe en iones de oxígeno y de hidrógeno y se libera oxígeno. Los iones de hidrógeno que se forman cuando el agua se rompe en las reacciones dependientes de luz, se unen a un portador de electrones para formar NADPH que se utiliza en las reacciones fotoindependientes.

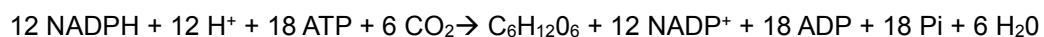
El ATP y el NADPH se utilizan para la elaboración de uniones C-C en las reacciones foto independientes. Las reacciones fotodependientes se resumen así:



Para captar la luz solar intervienen complejos muy especializados llamados **fotosistemas** formados por pigmentos primarios y pigmentos accesorios y moléculas transportadores de electrones. Se distinguen dos tipos de fotosistemas: fotosistema I y fotosistema II, los cuales absorben la luz de manera diferente y procesan electrones y energía de diversas formas (Starr y Taggart, 2004).

### Reacciones fotoindependientes.

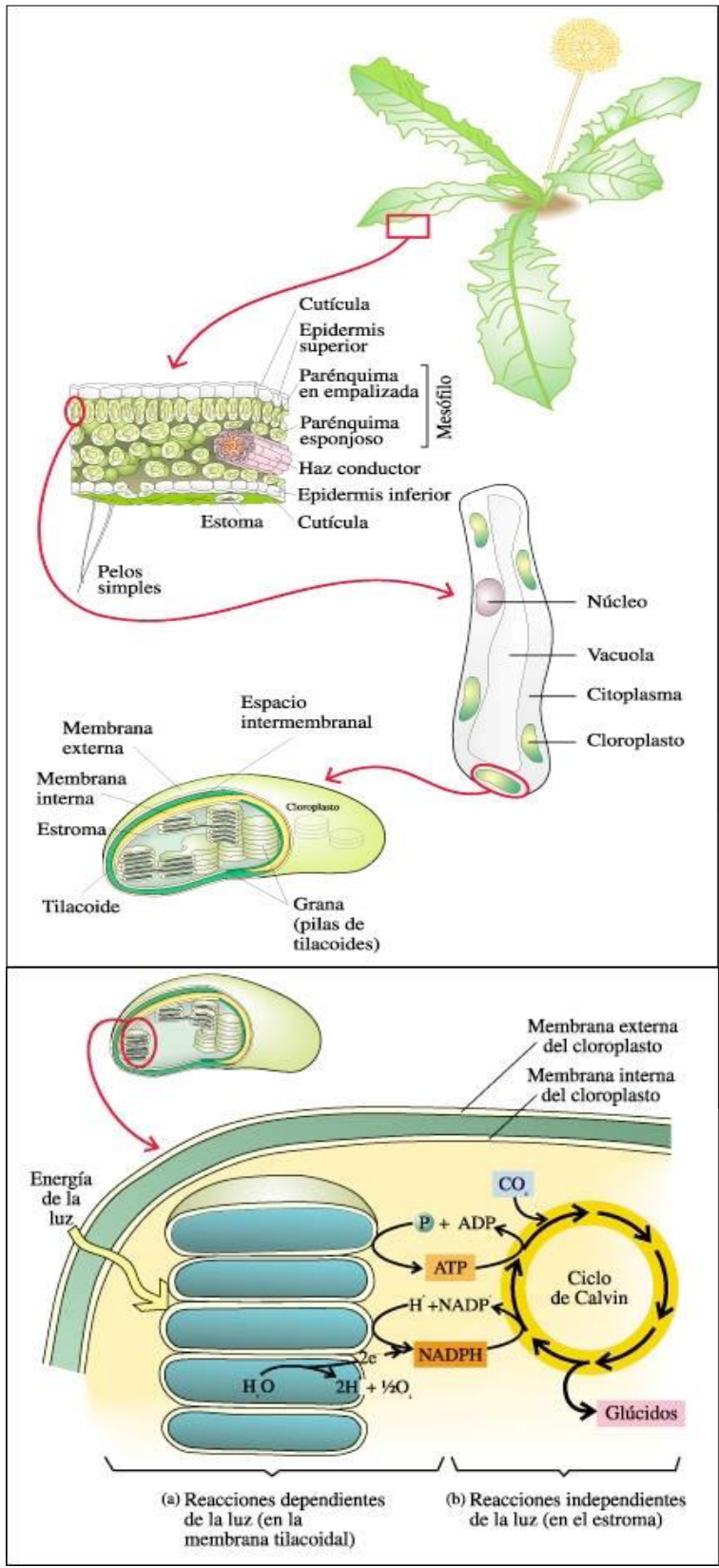
Las reacciones foto independientes no necesitan luz para verificarse aunque esto no significa que se lleven a cabo durante la noche. En estas reacciones se utiliza ATP y NADPH sintetizados en las fotodependientes para reducir el bióxido de carbono a carbohidrato, proceso llamado **fijación de CO<sub>2</sub>**. Las reacciones foto-independientes pueden resumirse así:





Las reacciones foto independientes forman el llamado **Ciclo de Calvin**, en honor del investigador de la Universidad de California que describió por primera vez el proceso completo, Melvin Calvin, y quien fue galardonado por su trabajo con el premio Nobel de Química en 1961. El ciclo de Calvin se conoce como la ruta bioquímica  $C_3$  debido a que la primera molécula estable es el ácido fosfoglicérico o PGA que posee tres átomos de carbono. Para que se lleve a cabo, el ciclo de Calvin necesita:

- Bióxido de carbono  $CO_2$ , que se obtiene generalmente del aire.
- Un azúcar que atrapa el  $CO_2$  y es el bifosfato de ribulosa RuBP.
- Enzimas que catalizan todas las reacciones.
- Energía en forma de ATP y NADPH que en general proviene de las reacciones fotodependientes (Staehelin y Arntzen, 1987). Ver Figura 5.15.

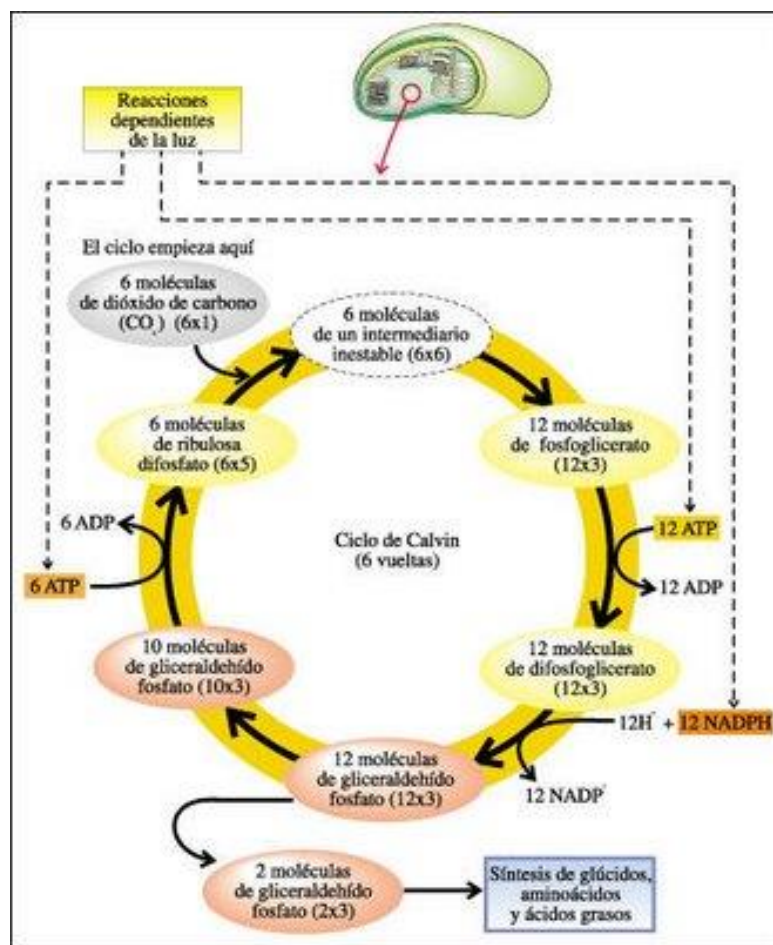


**Figura 5.14** El proceso de Fotosíntesis.

Arriba: Viaje dentro de un cloroplasto. Abajo: Esquema global de la fotosíntesis.

Para una comprensión mejor del ciclo de Calvin se propone dividirlo en cuatro etapas:

- El bióxido de carbono se une a un compuesto llamado RUBP (fosfato de ribulosa) para producir PGA (ácido fosfoglicérico).
- A partir del PGA, y usando el ATP y los hidrógenos (que lleva el NADPH) formados durante las reacciones fotodependientes se sintetizan moléculas de un compuesto llamado PGAL (fosfogliceraldehído).
- En otra serie de reacciones, la glucosa se forma del PGAL.
- Posteriormente, la glucosa puede degradarse mediante la respiración celular o unirse en cadenas para formar almidón o celulosa o modificarse en aminoácidos, lípidos u otros compuestos orgánicos (Alexander *et al*, 1992).



**Figura 5.15.** Ciclo de Calvin en las reacciones fotoindependientes de la fotosíntesis. En

estas reacciones se utiliza ATP y NADPH sintetizados en las reacciones fotodependientes para reducir el bióxido de carbono a carbohidrato.

## 5.7 RESPIRACIÓN

El termino respiración tiene dos significados en biología. Uno es la inspiración de aire (oxígeno) y la espiración de bióxido de carbono. Este es también el significado ordinario, no técnico, de la palabra. El segundo significado de la respiración es la oxidación de moléculas de compuestos orgánicos con liberación de energía. Este proceso, denominado también como **respiración celular**, es el que se trata a continuación.

La energía utilizada por las células eucariotas, tanto animales como vegetales, provienen de la ruptura gradual de enlaces covalentes de moléculas de compuestos orgánicos ricos en energía. En la célula vegetal, esos compuestos son sintetizados con la participación de la energía lumínica proveniente del sol durante el proceso de fotosíntesis (photon. luz y síntesis, síntesis). En la fotosíntesis, con la ayuda del pigmento clorofila, la energía lumínica se transforma en energía química que se almacena en los enlaces de los carbohidratos, principalmente hexosas, las que se polimerizan para formar almidón. Las hexosas originadas en la fotosíntesis son fuente de energía y también de carbono, en condiciones de ser utilizado para la síntesis de diversas macromoléculas orgánicas. Las células, sin embargo, no usan directamente la energía liberada de los carbohidratos y grasas, sino que utilizan un compuesto intermedio, el **adenosin - trifosfato (ATP)** (Nicholls y Ferguson, 2002).

Los ácidos grasos son, desde un punto de vista cuantitativo, una fuente energética mucho más importante que los carbohidratos, ya que, peso a peso rinden mucha más energía que el glucógeno de los tejidos. Mientras que una molécula-gramo de glucosa genera 38 moléculas-gramos de ATP, uno de ácido palmítico genera 126 moléculas-gramo de ATP. Un hombre adulto tiene suficiente energía depositada en forma de glucógeno para apenas un día, pero suficiente grasa para un mes.

El ATP, tiene 2 enlaces ricos en energía (representadas por el signo~). Cuando uno de ellos se rompe, libera aproximadamente 10 kilocalorías por molécula-

gramo. Generalmente, sólo un enlace se rompe, según la ecuación.

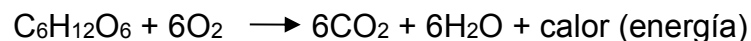
$\text{ATP} \approx \text{ADP} + \text{P}_i + \text{energía}$  ( $\text{P}_i$  significa fosfato inorgánico, y ADP adenosinodifosfato).

El citoplasma almacena energía en forma de triacilglicérolos (grasas neutras), de glucógeno y también de compuestos intermedios (metabolitos) ricos en energía, de los cuales el principal es el ATP (Bernstein y Bernstein, 1998).

Los triacilglicérolos y el glucógeno representan una reserva de energía estable y concentrada, pero difícilmente accesible, mientras que el ATP es un compuesto inestable, que no contiene energía tan concentrada, pero más fácilmente utilizable porque la enzima que rompe la molécula de ATP (ATPasa) es muy abundante en la célula. La descomposición de la glucosa en agua y bióxido de carbono, que ocurre durante la respiración celular, rinde 690 Kcal./mol, mientras que la hidrólisis de los dos enlaces ricos en energía del ATP rinde solamente 20 Kcal./mol.

Los carbohidratos y grasas pueden ser comparados a dinero en el banco, y ATP, dinero en el bolsillo. De hecho, el dinero depositado en el banco es seguro (teóricamente, no sujeto a robo o pérdidas) y puede ser acumulado en grandes sumas. Mientras que el dinero en el bolsillo (ATP) es inestable, sólo se puede guardar en cantidades limitadas, pero es fácilmente accesible cuando es necesario.

La combustión de la glucosa libera una cantidad fija de energía y consume oxígeno. El resultado de esa operación, que puede ser realizada en un aparato llamado **calorímetro**, produce calor (690 Kcal./mol), agua y bióxido de carbono, según la ecuación:

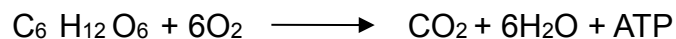


Esta combustión de la glucosa es, sin embargo, un proceso violento que lleva al calorímetro rápidamente a temperaturas altas. Si esto ocurriera dentro de una célula, ella se quemaría instantáneamente. Por eso es que para retirar la energía

de los compuestos orgánicos que contienen los nutrientes, la célula desarrolla un sistema que los oxida lentamente, liberando energía de manera gradual, al tiempo que se produce agua y CO<sub>2</sub>. A este proceso se le denomina **respiración celular**.

Casi cualquier molécula orgánica puede generar energía para la respiración celular, aunque para fines prácticos, generalmente se considera solo la glucosa. El mecanismo respiratorio que utiliza una célula para desdoblar este combustible depende de las enzimas que pueda producir y del tipo de entorno en que se ubique. Al respecto, se conocen tres mecanismos: respiración oxigénica, respiración anoxigénica y fermentación (Junqueira y Carneiro, 1998).

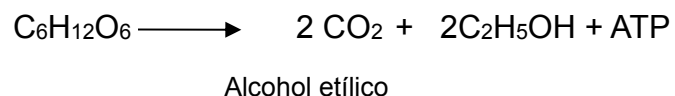
Muchas células que viven en condiciones de abundante oxígeno usan la **respiración oxigénica** que requiere de oxígeno molecular. La reacción general es la siguiente:



Algunos tipos de organismos (especialmente bacterias) que viven en el suelo o en depósitos de agua inmóvil donde es escaso el oxígeno, realizan la **respiración anoxigénica**, en la cual una sustancia inorgánica como el nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o el sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>) sustituye al oxígeno. Los productos terminales son sustancias inorgánicas y energía. La reacción condensada es:

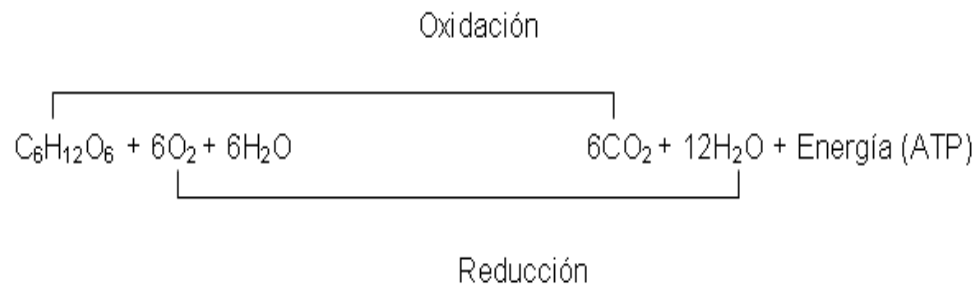


Hongos y bacterias adaptadas a condiciones anoxigénicas utilizan la **fermentación** para producir energía a partir de moléculas orgánicas, cuyos productos terminales son compuestos orgánicos y energía. La reacción general es:



### 5.7.1. Respiración oxigénica

En esta variante del proceso respiratorio en la célula, el oxígeno ayuda a liberar energía a partir de una molécula orgánica. Todos los enlaces entre átomos de carbono en la molécula se rompen y todos los átomos de hidrógeno son removidos. Por consiguiente, la respiración es esencialmente un proceso de óxido reducción de varios pasos en que se transfiere hidrógeno de la glucosa al oxígeno. Es decir, la glucosa se oxida y el oxígeno se reduce



Durante este proceso, la energía potencial de los electrones (átomos de hidrógeno) se usa en la síntesis de ATP. (Solomon *et al*, 2011).

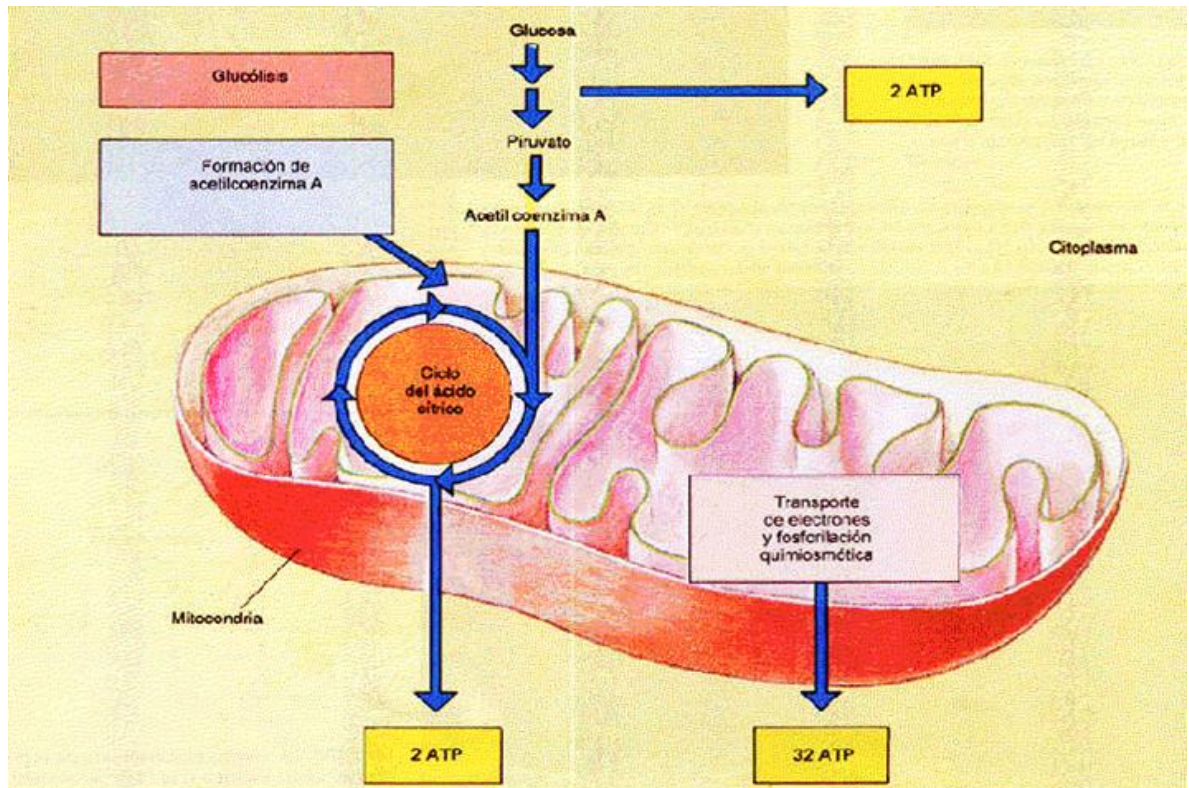
La respiración oxigénica de la glucosa comienza con la glucólisis o rompimiento de la molécula de glucosa en el citosol. Los productos de la reacción: ácido pirúvico, NADH y protones - entran a las mitocondrias, donde participan en una serie de reacciones. Más de 100 enzimas intervienen en este proceso, algunas localizadas dentro de la membrana interna y otras suspendidas dentro de la matriz mitocondrial. Las células con una gran demanda de energía (como los espermatozoides) poseen numerosas mitocondrias.

Las reacciones bioquímicas de la respiración oxigénica pueden agruparse en dos fases principales:

- **Glucólisis**, en el citosol.
- **Fosforilación oxidativa** en las mitocondrias. A su vez en la fosforilación se distinguen tres mecanismos distintos, pero que se enlazan íntimamente:
  - **Formación de acetil CoA.**
  - **Ciclo del ácido cítrico.**
  - **Transporte de electrones y quimiósmosis.** (Mader, 2004).



**Glucólisis.** La glucólisis (del griego, romper un azúcar) comprende una secuencia de reacciones que se efectúan en el citosol de una célula y mediante las cuales una molécula de glucosa (compuesto de seis carbonos) se desdobra en dos moléculas de ácido pirúvico (compuesto de tres carbonos).



**Figura 5.16** Localización de las vías metabólicas de la respiración oxidativa. Diagrama de una mitocondria que muestra el lugar donde ocurren las diferentes etapas de la respiración oxidativa.

Este desdoblamiento produce una pequeña ganancia de energía de dos moléculas de ATP y dos moléculas del transportador de electrones NADH. Cada reacción de este proceso es catalizada por una enzima específica y se usan en la medida necesaria ADP, NAD y fosfatos inorgánicos que flotan libremente en el citosol. La glucólisis no requiere oxígeno y puede ocurrir en condiciones oxigénicas o anoxigénicas (Berg *et al*, 2007)



Las moléculas transportadoras, como el NAD<sup>+</sup>, atrapan energía y captan electrones de alta energía, llevando estos electrones a sitios donde se utiliza su energía para formar ATP. Una de las principales diferencias entre el desdoblamiento oxidativo y anoxigénico de la glucosa es el destino de estos electrones de alta energía.

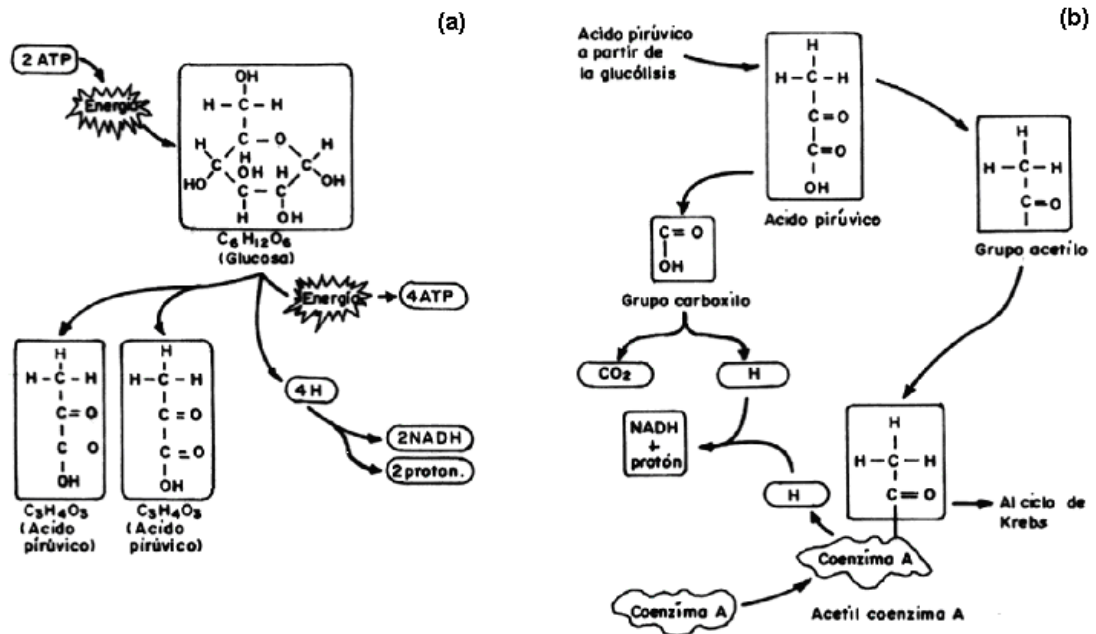
En presencia de oxígeno, durante la respiración celular, el oxígeno llega a ser el último aceptor de electrones, permitiendo que el ácido pirúvico desdoble totalmente su energía en la producción de ATP. En ausencia de oxígeno, durante la fermentación, el ácido pirúvico actúa como el aceptor final de electrones, produciendo moléculas orgánicas (de etanol o ácido láctico) que la célula no puede utilizar. (Purves *et al*, 2001).

### **Fosforilación oxidativa.**

Después de la aparición del oxígeno en la atmósfera, se desarrolló una vía metabólica de mayor rendimiento energético que la glucólisis: la fosforilación oxidativa. Mediante este proceso el ácido pirúvico se oxida formándose agua y dióxido de carbono, con formación de ATP. Se diferencian tres mecanismos en el proceso de la fosforilación oxidativa:

- La producción de acetil coenzima A (acetil CoA).
- El ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs.
- El sistema transportador de electrones. Ver Figura 5.17.

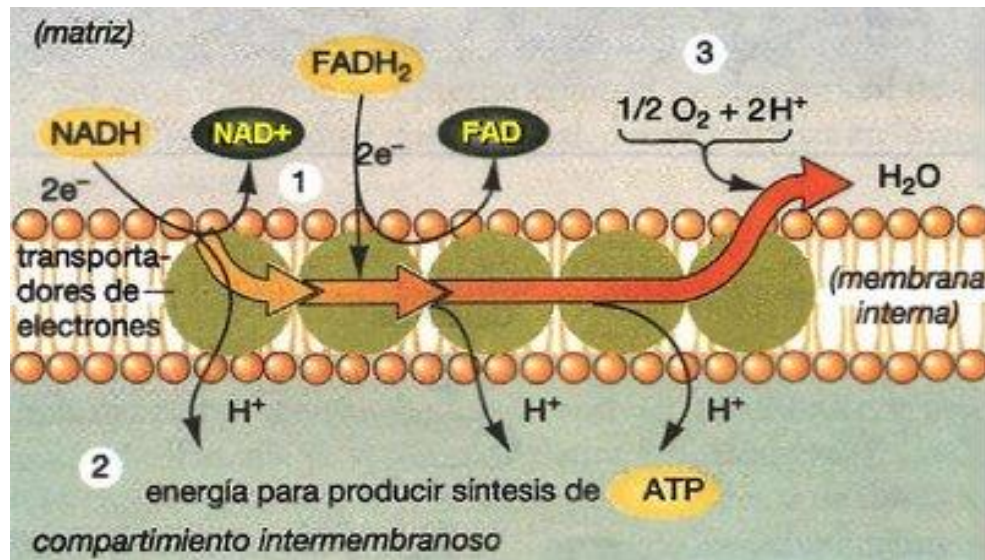
Mientras que la glucólisis ocurre en el citosol, la fosforilación oxidativa se procesa en el interior de la mitocondria.



**Figura 5.17** Reacciones químicas que se presentan en a) glucólisis b) fosforilación oxidativa

**Formación de acetil - coenzima A.** La acetil - CoA se produce a partir del ácido pirúvico derivado de la glucólisis y de la coenzima A o, por la oxidación de los ácidos grasos. El ácido pirúvico y los ácidos grasos atraviesan las membranas mitocondriales y en la matriz del organelo generan acetato que ligado a la coenzima A forma acetil - CoA (Karp, 2011).

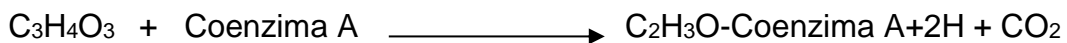
La transformación del ácido pirúvico en acetil - CoA se debe a un sistema multienzimático, **el complejo piruvato deshidrogenasa**, el cual convierte el ácido pirúvico en acetil - CoA, liberando CO<sub>2</sub> que es eliminado de la mitocondria. El grupo acetilo entra luego en el ciclo en el ácido cítrico. La vía metabólica es la siguiente:



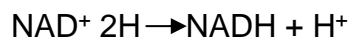
**Figura 5.18.** Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.

Las dos moléculas de ácido pirúvico que se forman durante la glucólisis son objeto de descarboxilación oxidativa mediante la cual pierden un grupo carboxilo dejando una molécula de dos carbonos, llamada **grupo acetilo**. Otra molécula, la coenzima A, se une entonces al grupo acetilo para formar **acetil coenzima A**, removiendo un átomo de hidrógeno en el proceso.

Por cada molécula de ácido pirúvico, la reacción produce una molécula de acetil coenzima A, una molécula de CO<sub>2</sub> (a partir del grupo carboxilo) y dos átomos de H (uno a partir de la oxidación del grupo carboxilo y el otro de la oxidación de la coenzima A).



El bióxido de carbono es un producto de desecho que se difunde fuera de la célula (en humanos, se exhala por los pulmones). Los dos átomos de hidrógeno se combinan con NAD<sup>+</sup> para formar NADH más un protón (H<sup>+</sup>):

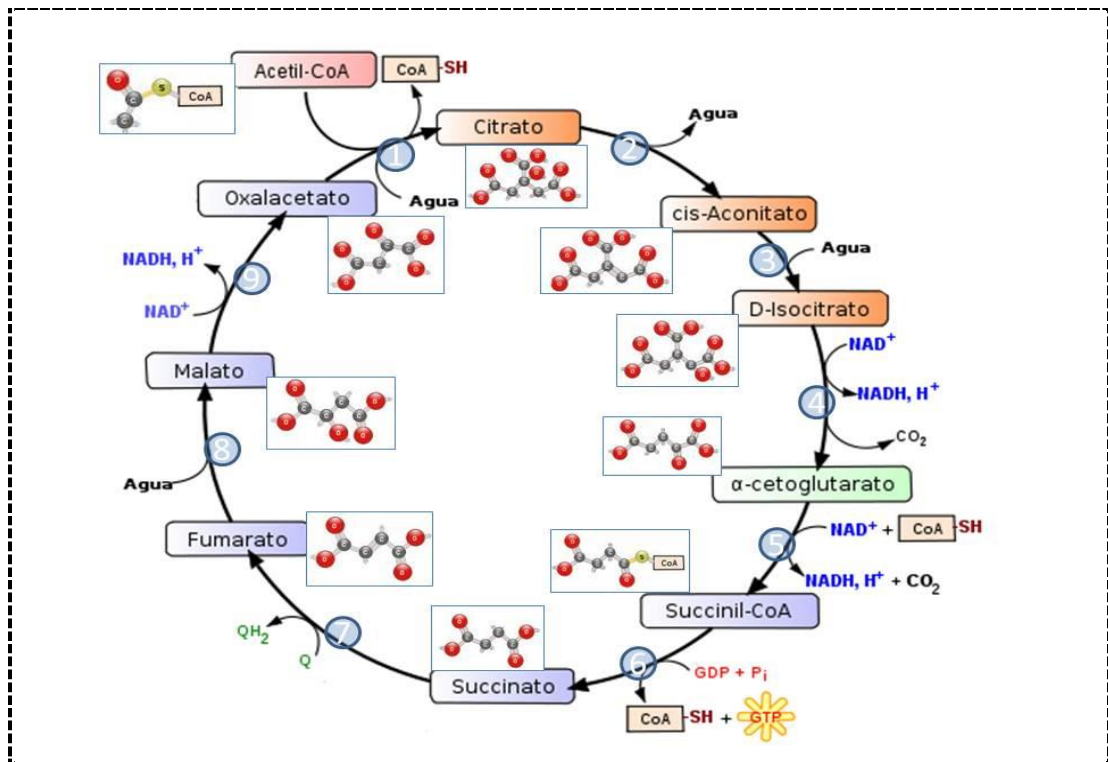


Tres eventos tienen lugar en la conversión del ácido pirúvico en acetil coenzima A:

- Dos átomos de hidrógeno se transfieren al  $\text{NAD}^+$  (más un protón) para producir NADH que puede utilizarse luego en la cadena transportadora de electrones.
- El ácido pirúvico se convierte en el grupo acetilo que se usará en el ciclo del ácido cítrico o de Krebs.
- La coenzima A se une y se activa el grupo acetilo, preparándolo para el ciclo del ácido cítrico o de Krebs. (Curtis y Barnes, 2000).

**Ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs.** También se conoce como ciclo del ácido tricarboxílico o ciclo de Krebs, este último nombre en honor de Sir Hans Krebs, quien aclaró sus detalles en el decenio de 1930. Este ciclo es una secuencia de reacciones enzimáticas en la cual ocurre la producción gradual de electrones y protones, mediante la acción catalítica de las enzimas llamadas **deshidrogenasas**. Ver Figura 5.19.

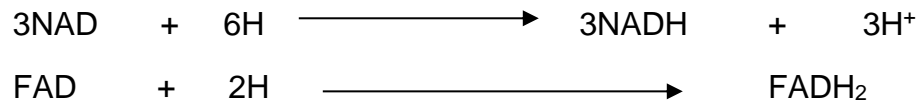
La ruta bioquímica forma un ciclo que comienza y termina con la misma molécula de cuatro carbonos: el ácido oxaloacético.



**Figura 5.19.** Representación del ácido cítrico o ciclo de Krebs. El ciclo inicia cuando el grupo acetilo de la acetil coenzima A se une con el ácido oxalacético para formar el ácido cítrico el cual se rompe entonces en dos moléculas de bioxido de carbono (que se difunden fuera de la célula), una molécula de ácido oxalacético que comienza un nuevo ciclo y ocho átomos de hidrógeno.

La porción acetilo de la acetil coenzima A entra en el ciclo al combinarse con el ácido oxaloacético para formar una molécula de seis carbonos llamada ácido cítrico. El ácido cítrico se fragmenta a medida que se desplaza a través del ciclo: parte se convierte en una molécula de cuatro carbonos (ácido oxaloacético) que ingresa de nuevo al ciclo y el resto produce CO<sub>2</sub> y átomos de hidrógeno. Parte de la energía liberada durante el proceso se usa para producir ATP a partir de ADP y un ion fosfato (Nicholls y Ferguson, 2002).

Los ocho átomos de hidrógeno liberados del ácido cítrico son recuperados por dos moléculas transportadores: NAD<sup>+</sup> y FAD:



El NADH y FADH<sub>2</sub> llevan los electrones y átomos de hidrógeno a la cadena transportadora de electrones. Los protones, que inicialmente hacían parte de los átomos de hidrógeno en el ácido cítrico, contribuyen al gradiente de protones que participan en la fase final de la respiración oxigénica. (Starr y Taggart, 2004).

Por cuanto se producen dos moléculas de acetil Co A (C<sub>2</sub>) por cada una de glucosa (C<sub>6</sub>), el ciclo debe repetirse dos veces para el procesamiento de cada molécula de glucosa. Al término de cada ciclo queda un compuesto de cuatro carbonos (ácido oxaloacético) que entra nuevamente al ciclo.



**Figura 5.20:** Esquema en que se asocia el ciclo de Krebs a ciertas enfermedades.

Después de la segunda repetición del ciclo, la glucosa original ha perdido todos sus átomos de carbono y podría considerarse como totalmente consumida. Se produce directamente solo una molécula de ATP mediante un proceso de fosforilación con cada repetición del ciclo del ácido cítrico. El resto del ATP que se produce durante la respiración oxigénica resulta del sistema de transporte de electrones y de la quimiósmosis.

En resumen, lo que ha sucedido en el ciclo cítrico o ciclo de Krebs es la transferencia de energía del grupo acetilo al ATP y el paso de electrones y átomos de hidrógeno al NAPH y FADH<sub>2</sub>. La energía transferida al ATP (una molécula por el grupo acetil, o dos moléculas por una de glucosa) está disponible para su utilización por la célula. Los electrones y los átomos de hidrógeno en el interior del NADH y FADH<sub>2</sub> liberarán energía en la cadena transportadora de electrones.

### **Sistema de transporte de electrones y quimiósmosis.**

Es una cadena, formadas por enzimas y compuestos no enzimáticos, cuya función es transportar electrones y se realiza en la membrana interna de la mitocondria.

Los átomos de hidrógeno se transfieren del NADH al mononucleótido de flavina o FMN (flavin mononucleotide) que es el primer aceptor de la cadena. Al transferirse estos átomos de hidrógeno de una molécula aceptora de electrones a otra, los protones del hidrógeno (H) se separan de sus electrones y se liberan en el entorno. (Paniagua et al, 2011).

Los aceptores de electrones en la cadena de transporte incluyen el FMN, ubiquinona (CoQ) y un grupo de proteínas estrechamente relacionadas que se denominan **citocromos**. Los electrones se transfieren de un citocromo al siguiente de la cadena con pérdida de energía en cada una de las transferencias. Al final, el último citocromo de la cadena, el citocromo  $a_3$ , transfiere dos electrones que activan moléculas de oxígeno mediante un sistema enzimático denominado **citocromo – oxidasa**. Ese oxígeno se combina con los protones para producir  $H_2O$ . La citocromoxidasa está fuertemente inhibida por el cianuro, razón por la cual este compuesto es un tóxico muy violento. Ver Figura 5.21.

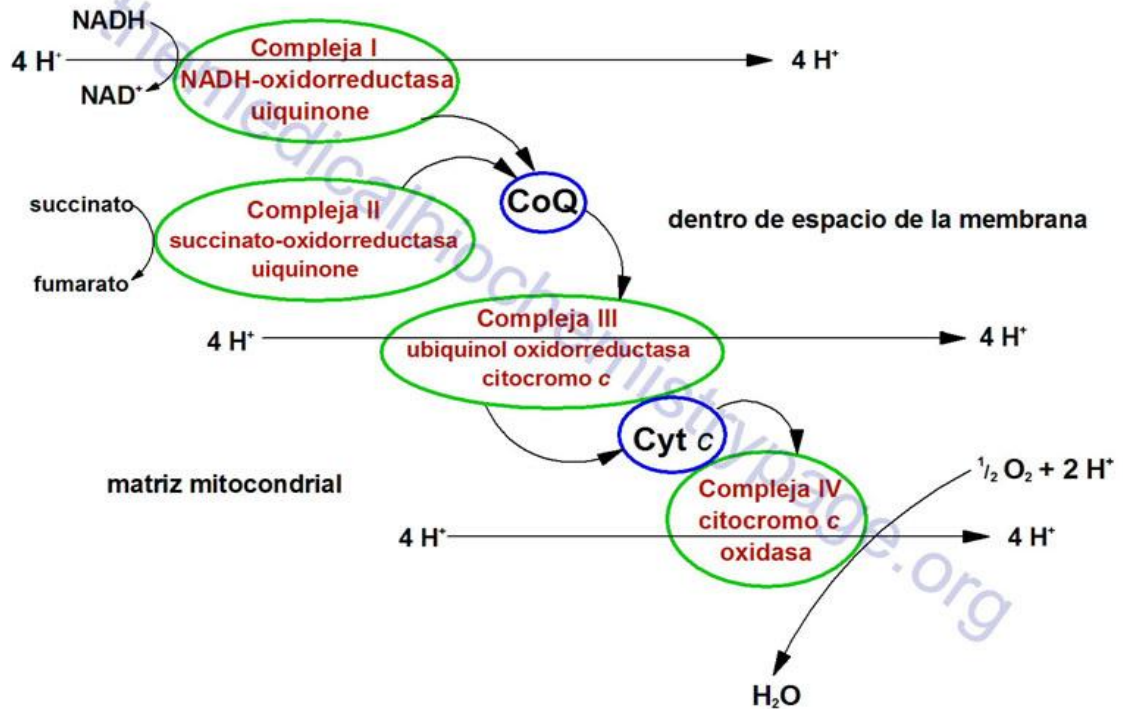
Se afirma que el oxígeno es el aceptor final de electrones en la respiración oxigénica. La razón por la cual el cuerpo humano inhala oxígeno es por la necesidad de suministrar un sitio a donde puedan ir los electrones que se han transferido a través de la cadena transportadora de electrones. Cuando el oxígeno falta (por ejemplo, cuando una persona se asfixia o se ahoga), el último citocromo de la cadena conserva sus electrones.

Cuando esto ocurre, cada molécula aceptora de la cadena también retiene los electrones y el sistema completo se bloquea, incluso hasta el NADH. En consecuencia, no se producen más moléculas de ATP por intermediación del sistema de transporte de electrones y al no producir energía, el organismo muere.

La cadena de transporte de electrones produce 32 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa que se degrada. La ganancia neta del ATP producido en la glucólisis es de 2ATP y de 2ATP más que se produce en el ciclo del ácido cítrico. Por consiguiente, se presenta una ganancia neta de 36 ATP por cada molécula de glucosa que se degrada en bióxido de carbono y agua. (Solomon et al, 2011).



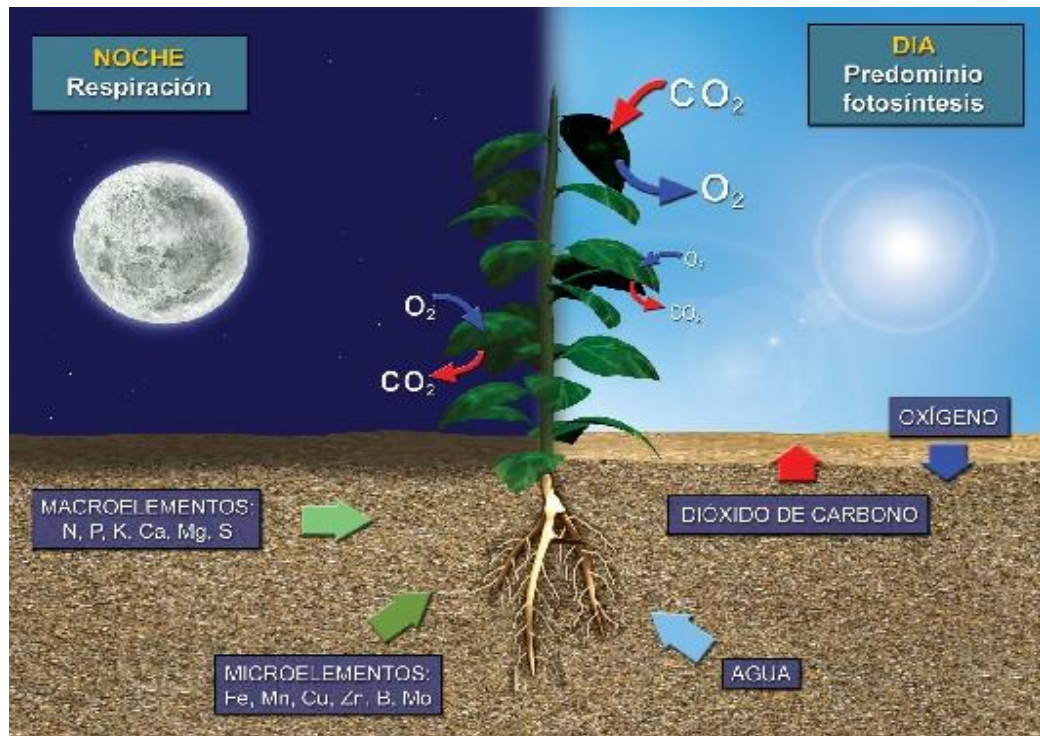
## Flujo de Electrones durante la Fosforilación Oxidativa



**Figura 5.21:** Sistema de transporte de electrones. Los átomos de hidrógeno o sus electrones que son liberados por NADH y FADH<sub>2</sub> se transfieren de una molécula aceptora de electrones a otra energía.

El mecanismo de la fosforilación oxidativa, antes descrito, es decir, la manera cómo se forma ATP a partir de ADP y Fosfato a medida que los electrones descienden por la cadena de transporte, no se conocían en detalle y se manejaban varias hipótesis. Un adelanto significativo ocurrió cuando el bioquímico británico Peter Michell, propuso que el proceso era impulsado por un gradiente de protones (iones H<sup>+</sup>) establecido a través de la membrana mitocondrial interna. Estudios posteriores revelaron muchos detalles acerca de este mecanismo, conocido como **acoplamiento quimiosmótico**, aunque todavía quedan aspectos por investigar.





**Figura 5.22** Representación gráfica de la fotosíntesis y la respiración oxigénica

**Tabla 5.3.** Comparación entre la respiración oxigénica y la fotosíntesis.

Características	Respiración oxigénica	Fotosíntesis
<b>Materia prima</b>	$C_6H_{12}O_6 + O_2$	$CO_2 + H_2O$
<b>Productos finales</b>	$CO_2 + H_2O$	$C_6H_{12}O_6 + O_2$
<b>Organismos que la realizan</b>	Mayor parte de los organismos	Autótrofos
<b>Estructuras celulares</b>	Citosol y mitocondrias	Cloroplastos
<b>Condiciones ambientales</b>	Luz solar y oscuridad	Solo con luz solar
<b>Flujo de energía</b>	Energía en alimentos NADH/ATP          ATP	Energía lumínica          clorofila NADPH/ATP          Azúcar
<b>Tipos de reacciones químicas</b>		Endógenas
<b>Fórmula condensada</b>	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow CO_2 + 6H_2O + ATP$	Energía solar $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ Clorofila

### 5.7.2. Fermentación.

La fermentación es una variante de la respiración en la que, bajo condiciones de ausencia de oxígeno, el ácido pirúvico (producto de la glucólisis) actúa como aceptor final de electrones y de iones hidrógeno a partir del NADH. Así, el  $NAD^+$

se regenera para su uso en la glucólisis posterior. Todas las reacciones químicas tienen lugar en el citosol.

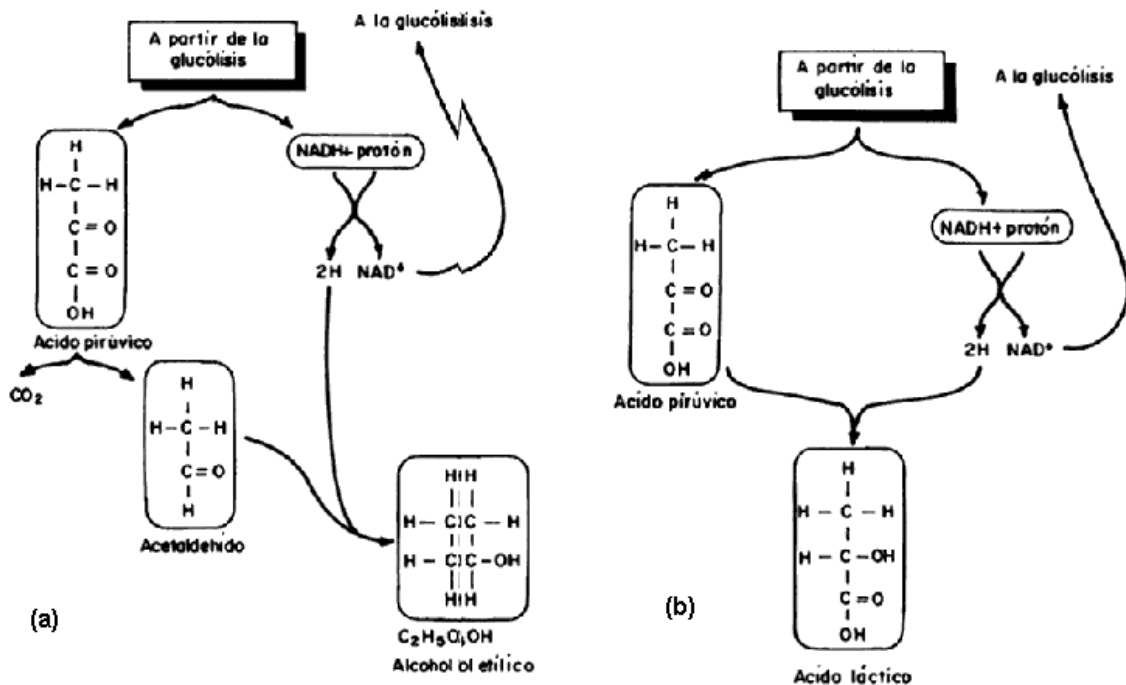
Numerosos organismos (especialmente microorganismos) cuyos hábitats carecen o tienen poco oxígeno, utilizan la fermentación como fuente de energía metabólica. Por ejemplo, los microorganismos que sobreviven en los intestinos de los animales, en el suelo profundo, en sedimentos que se encuentran bajo lagos, océanos y pantanos. Aún la fermentación se efectúa en algunas células del cuerpo humano (Lozano, 2000).

La glucólisis constituye la primera etapa de la fermentación, igual que en el caso de la respiración oxigénica. La glucólisis también requiere enzimas que catalizan la descomposición de la glucosa y el reordenamiento de los fragmentos en dos moléculas de ácido pirúvico.

En este caso, nuevamente se forman dos NADH y el rendimiento neto de energía es de dos ATP. Sin embargo, en las reacciones de fermentación no se rompe en su totalidad la glucosa hasta el bióxido de carbono y agua. Además, no se produce ATP más allá del bajo rendimiento de la glucólisis. En los pasos finales de la fermentación simplemente se regenera el NAD<sup>+</sup>, la coenzima que ayuda a las reacciones de descomposición.

La fermentación da suficiente energía para el sostenimiento de muchos organismos anoxigénicos unicelulares. Inclusive es de ayuda para algunas células oxigénicas en periodos de tensión, aunque no basta para el sostenimiento de grandes organismos multicelulares. Este es uno de los motivos por los cuales nunca se encontrará un hipopótamo anoxigénico. Se presentan diferentes tipos de fermentación según los organismos que la realicen. Entre las más comunes se destacan:

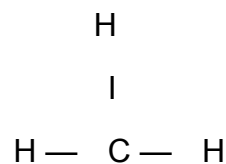
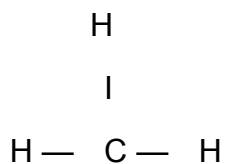
- **La fermentación alcohólica** propia de las levaduras del género **Saccharomyces**.
- **La fermentación acética**, que producen bacterias de la especie ***Acetobacter aceti*** y
- **La fermentación láctica**, que efectúan diferentes tipos de hongos y bacterias (Karp, 2011).

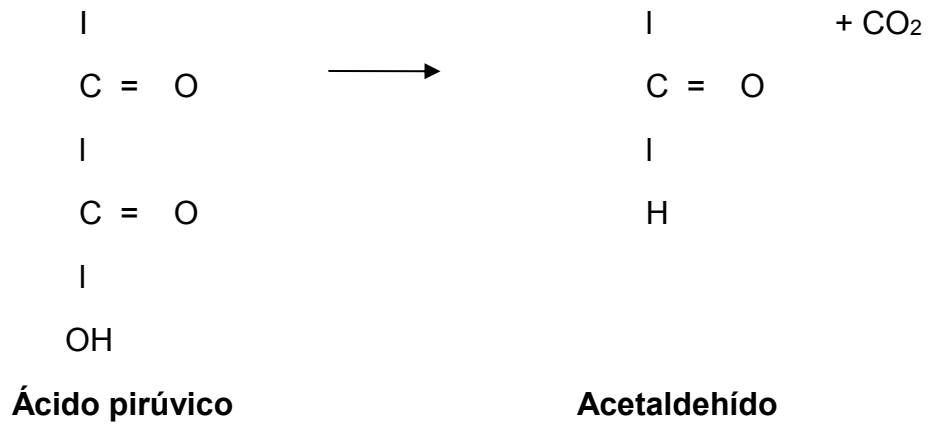


**Figura 5.23** Fermentación El proceso fermentativo comienza con la glucólisis seguida por la conversión del ácido pirúvico y  $\text{NADH}$  en productos fragmentados más  $\text{NAD}^+$ . La fermentación, por lo general, ocurre por una de dos vías. En una vía a) la glucosa se convierte en dióxido de carbono y alcohol etílico. En la otra vía b) la glucosa se transforma en ácido láctico. La ruta bioquímica que se tome depende del organismo.

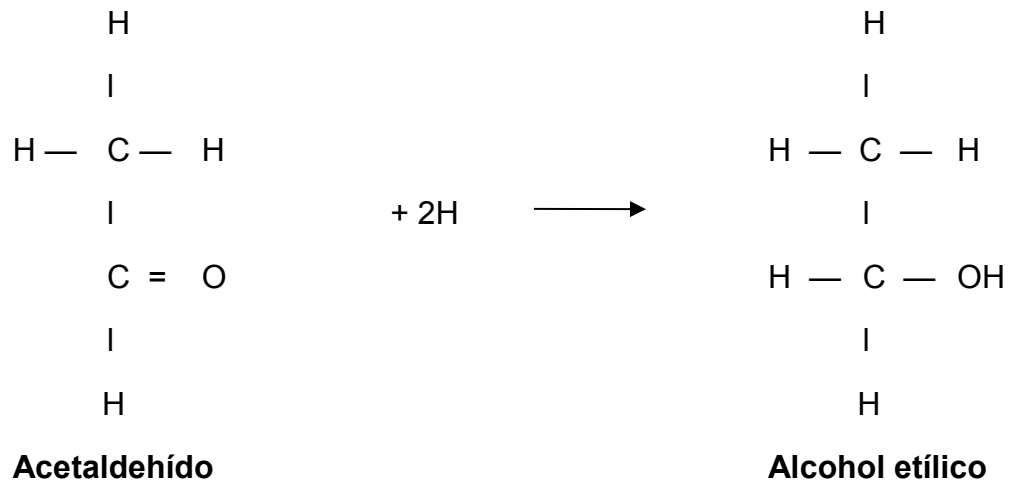
**Fermentación alcohólica.** En algunas levaduras (un tipo de hongos) y bacterias la glucólisis es seguida por la conversión del ácido pirúvico y los átomos de hidrógeno en bióxido de carbono y alcohol etílico. Dicha conversión abarca dos etapas después de la glucólisis. Ver Figura 5.23.

En la primera etapa, cada molécula de ácido pirúvico se rompe para formar una molécula de acetaldéhidido y una molécula de  $\text{CO}_2$ .

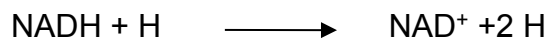




En la segunda etapa, dos átomos de hidrógeno se adicionan a la molécula de acetaldehído para formar el alcohol etílico.



Los dos átomos de hidrógeno provienen de una molécula de NADH (aporta un átomo hidrógeno y un electrón) más un protón libre en el citosol. La transferencia de estos átomos de hidrógeno al acetaldehído convierte el NADH en NAD<sup>+</sup>:



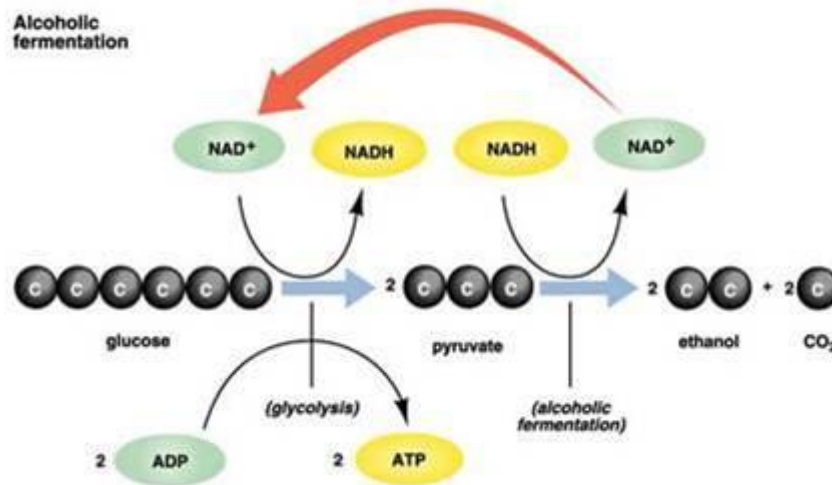
Estas reacciones químicas después de la glucólisis no producen moléculas de ATP, pero el  $\text{NAD}^+$  que se libera puede usarse nuevamente en la glucólisis.

La fermentación alcohólica es la base de la producción de cerveza, aguardiente, vino y otras bebidas alcohólicas (Overmire, 2010).

En la producción del vino, las levaduras se encuentran en la cáscara de la uva, por lo que al macerarse ésta, dicha levadura fermenta los azúcares (hexosas) contenidos en el **mosto** produciendo etanol. Sin embargo, este proceso fermentativo es nocivo para algunos microorganismos debido a que el alcohol producido es venenoso.

Si la concentración alcohólica en su medio se incrementa demasiado, el microorganismo muere. Por ejemplo, la mayoría de las levaduras mueren si la concentración de alcohol excede del 12%, aunque algunas cepas que se desarrollan para la producción vinícola no sucumben hasta que la concentración de alcohol llega al 18%.

Los vinos espumosos, entre ellos, la champaña, son embotellados mientras las levaduras están vivas y fermentando. De esta forma, se atrapa en la botella tanto el alcohol como el bióxido de carbono. Cuando se quita el corcho, se libera el  $\text{CO}_2$  presurizado, ocasionando el ruido característico (Mader, 2008).



**Figura 5.24.** Representación gráfica del proceso de fermentación alcohólica.

En la fabricación del pan, a la masa de harina se le agrega “polvo de hornear” que no es otra cosa que levadura (hongos) para que el CO<sub>2</sub> producido esponje el pan; el alcohol que genera la fermentación se evapora mientras el pan se está horneando.

La cerveza se obtiene a partir del almidón de la cebada. Como la levadura solo puede fermentar monosacáridos, es necesario desdoblar previamente dicho almidón, dado que la propia semilla de la cebada posee amilasa que lo descompone para obtener glucosa, proceso que se realiza de modo natural durante la germinación.

El primer paso en la fabricación de la cerveza consiste en dejar germinar las semillas de cebada; luego se muelen y se mantienen en tanques con agua. Posteriormente se filtra la mezcla, se le añade el lúpulo (sustancia que le proporciona el amargo característico a la cerveza), se hierve y una vez enfriada se añade la levadura que da lugar a la formación del etanol y del bióxido de carbono.

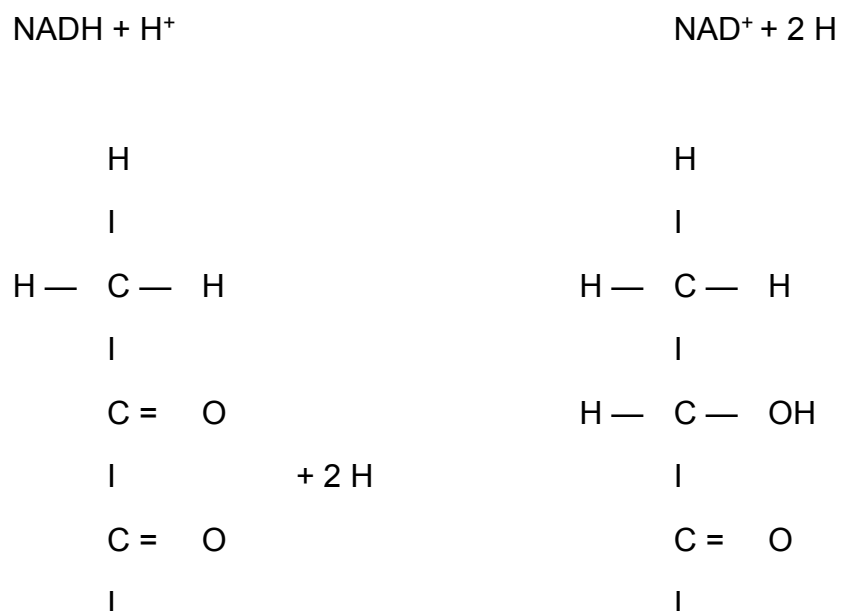
En la historia de la humanidad se encuentra que cada cultura efectúa la fermentación alcohólica de sus harinas nativas de un modo particular. Por ejemplo, el sake, original de los países orientales (Japón, Corea) se obtiene por la fermentación del almidón del arroz y en algunas culturas americanas la chicha se

fabrica a partir de la fermentación del maíz (Starr y Taggart, 2004).

**Fermentación Acética.** Este tipo de fermentación se produce por la acción de las denominadas bacterias del ácido acético, pertenecientes a los géneros **Acetobacter** y **Gluconobacter** que oxidan el etanol y lo convierte en ácido acético (CH<sub>3</sub>-COOH) en presencia del oxígeno. El ácido acético es el principal constituyente del vinagre. El término vinagre se deriva de la palabra francesa “vinagre” que literalmente significa vino agrio. El vinagre puede producirse a partir de cualquier sustancia alcohólica, aunque la materia prima más común es el vino o la sidra.

**Fermentación Láctica.** Algunos hongos y bacterias (y las células musculares en los humanos) pueden efectuar la **fermentación láctica**. Este proceso lo realizan diversos tipos de microorganismos que actúan sobre los azúcares de la leche, el principal de los cuales es la lactosa. Los microorganismos descomponen la lactosa en dos monosacáridos: glucosa y galactosa. Luego de la obtención de la glucosa se sigue la secuencia de las reacciones de la glucólisis, con lo que se forma el ácido pirúvico (Mader, 2008).

En la fermentación láctica los hidrógenos que fueron removidos de la glucosa durante la glucólisis y que están presentes ahora en el NADH y en los protones libres se asocian con el ácido pirúvico para producir ácido láctico.





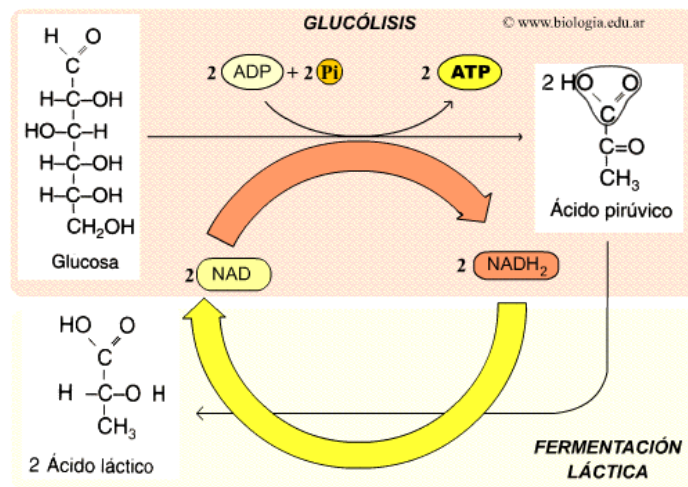
OH

OH

**Ácido pirúvico****Ácido láctico**

Después de la glucólisis no se transfiere energía al ATP pero se recupera el  $\text{NAD}^+$  que puede usarse de nuevo en la glucólisis. La fermentación láctica es también el proceso seguido por las células musculares de los seres humanos y otros animales superiores para obtener energía adicional.

Cuando una persona realiza una actividad física extenuante, por ejemplo, una carrera, la cantidad de oxígeno que llega a las células musculares puede ser insuficiente para el ritmo acelerado de la respiración oxigénica. No todos los átomos de hidrógeno que captan las moléculas de  $\text{NAD}^+$  pueden procesarse de la manera común en la cadena de transporte de electrones, dada la escasez de oxígeno. En tal situación, las células musculares cambian transitoriamente de la respiración oxigénica a la fermentación láctica. Los hidrógenos se transfieren al ácido pirúvico y se forma el ácido láctico.



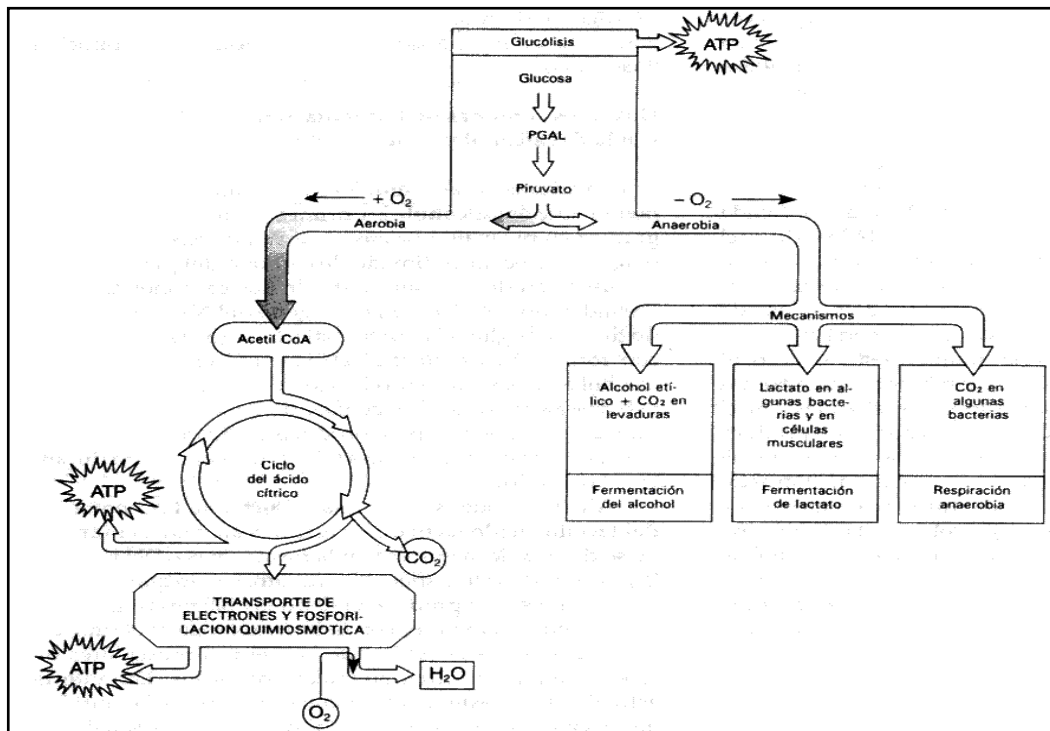
**Figura 5.25** Representación gráfica del proceso de fermentación láctica.

Sin embargo, el ácido láctico es tóxico en concentraciones elevadas. Pronto causa un malestar intenso y fatiga (la pálida), haciendo que la persona se detenga, o al menos, disminuya su ritmo. Ver Figura 5.26.

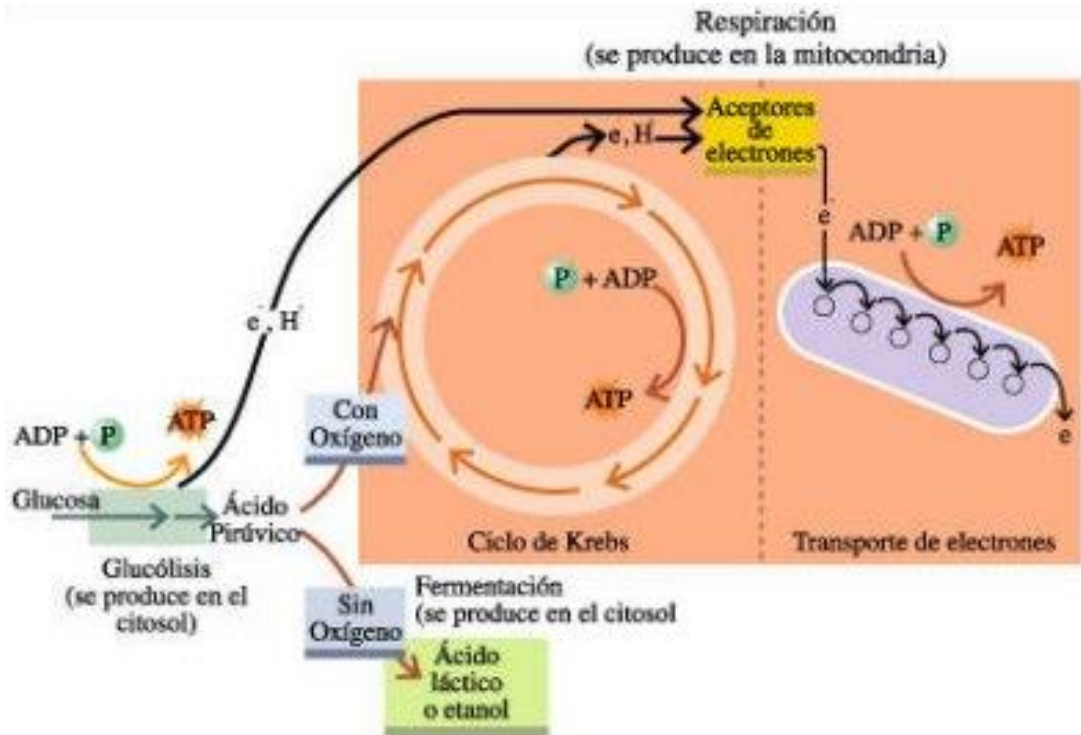
Mientras descansa, respira rápidamente y el oxígeno vuelve a estar disponible y el ácido láctico se vuelve a convertir en ácido pirúvico. La conversión del ácido láctico en ácido pirúvico no se efectúa en las células musculares, ya que carecen de las enzimas necesarias, sino en el hígado a donde es transportado por la sangre. Este ácido pirúvico se desdobra a través de la respiración celular en bióxido de carbono y agua (Audersik y Audersik, 2006).



**Figura 5.26** Atleta con calambres. La acumulación de ácido láctico en los músculos es tóxico en concentraciones elevadas y ocasiona los denominados calambres



**Figura 5.27** Representación gráfica entre la respiración oxigénica y la fermentación. La respiración oxigénica genera mucha más energía por cada molécula original que la fermentación. El destino de los electrones ricos en energía del NADH producido en la glucólisis es diferente en los dos procesos.



**Figura 5.28:** Esquema general del proceso de respiración oxigénica.

## 5.8. TRABAJO BIOLÓGICO

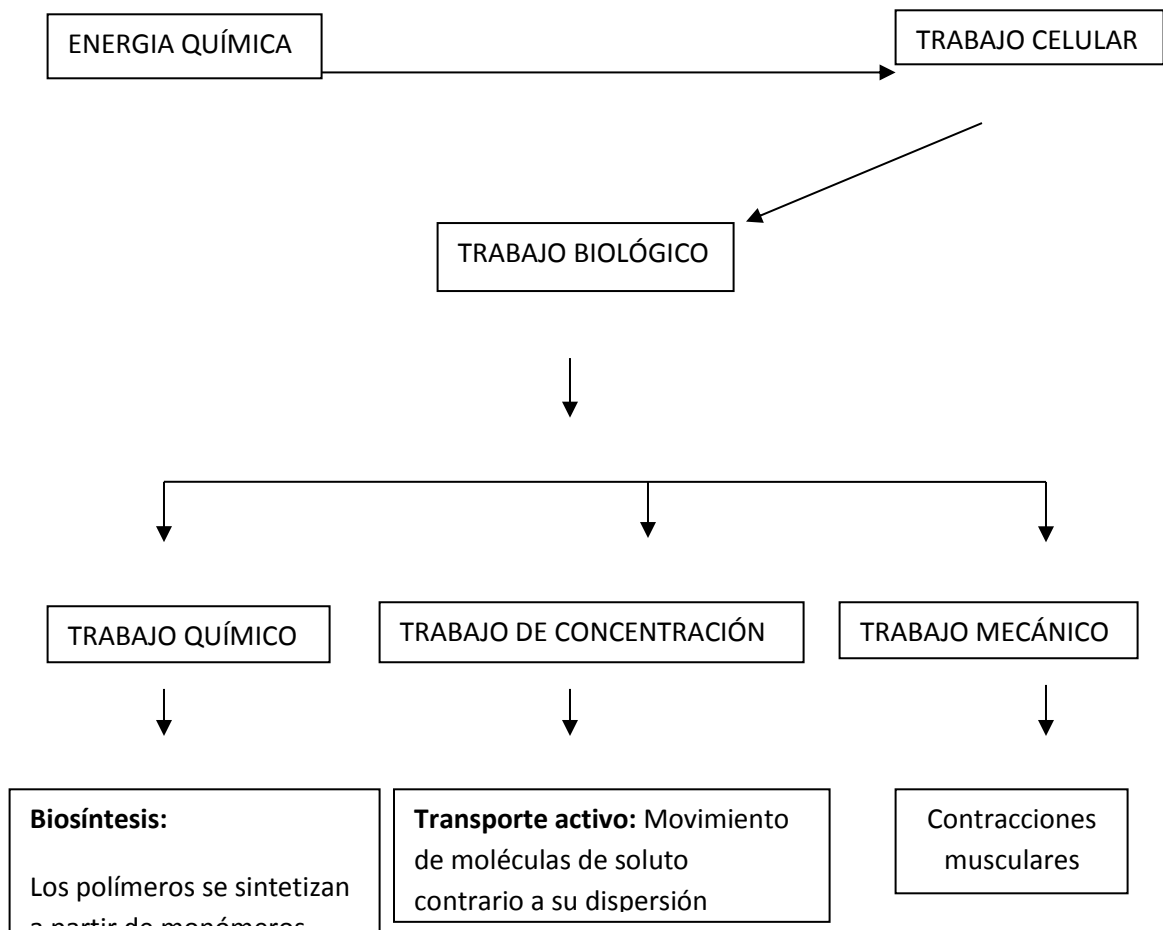
La última gran fase del flujo de energía biológica es la utilización de la energía química para realizar diferentes clases de trabajo celular. Hay, básicamente, tres tipos de trabajo que realizan los organismos vivos: trabajo químico, trabajo de concentración y trabajo mecánico. Ver Figura 5.4

**Trabajo químico.** Todas las células realizan trabajo químico mediante un conjunto de procesos denominados **biosíntesis**, no solo durante el crecimiento activo sino también para mantenerse a sí mismas.

Los componentes macromoleculares de las células, (polímeros) tales como proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y carbohidratos, son sintetizados

continuamente a partir unidades estructurales pequeñas (monómeros) mediante la acción de enzimas.

La biosíntesis es la actividad endergónica más compleja y vital de los organismos vivos. De hecho, constituye la esencia propia del estado viviente, ya que incluye no solo a la formación de los componentes químicos característicos de las células a partir de precursores simples, sino también su ensamblaje en estructuras propias tales como sistemas membranosos, elementos contráctiles, mitocondrias, núcleos y ribosomas (Lehninge, 1995).



**Tabla 5.4.** Tipos de trabajo que realizan los seres vivos.

**Trabajo de concentración.** El segundo tipo de trabajo celular es el necesario para transportar y concentrar sustancias; con frecuencia, también se denomina **trabajo osmótico**. Todas las células pueden acumular ciertas sustancias esenciales a partir del medio, bien sea minerales como el potasio, o nutrientes como la glucosa, de tal modo que su concentración intracelular puede ser mucho mayor que en el medio exterior a la célula.

Por el contrario, sustancias no deseables o nocivas para la célula pueden ser bombeadas activamente hacia el exterior de la misma o excretadas, aun cuando la concentración externa de la sustancia sea mucho mayor que la interna. Tales movimientos de moléculas en contra de gradientes de concentración no pueden tener lugar espontáneamente, ya que las moléculas de soluto normalmente tienden a dispersarse en todo el espacio disponible para ellas.

### **Transporte activo**

El término **transporte activo** se aplica al movimiento, dependiente de energía, de las moléculas de soluto en contra de su tendencia a dispersarse. Por medio de la acción de “bombas” de transportes activos situadas en sus membranas, las células pueden mantener su medio interno constante y óptimo para la vida, aun cuando el medio externo pueda tener una composición química muy diferente. Además, a través de los mecanismos de transporte activo, las células pueden extraer, también del medio ambiente, moléculas nutrientes vitales para ellas, aun cuando se encuentran en concentraciones muy bajas. La actividad eléctrica de muchas células es también el resultado del trabajo osmótico que interviene en el mecanismo de excitación y de la conducción de impulsos en las células nerviosas y musculares (Solomon *et al*, 1996).

### **Trabajo mecánico.**

Finalmente la mayor parte de los organismos pueden llevar a cabo trabajo mecánico. El más destacado es el trabajo realizado por la contracción del músculo esquelético en los humanos, que puede ser fácilmente observado y medido. Sin embargo, tales procesos de contracción no son sino refinamientos de una propiedad más generalizada de casi todas las células de ejercer fuerzas intracelulares de tracción por medio de filamentos contráctiles. Por ejemplo,

durante la división de las células superiores, las fibras contráctiles de las células son responsables de la separación de los cromosomas en el núcleo y de la división del material citoplásmico. Las estructuras móviles tales como los cilios y flagelos llevan a cabo también trabajo mecánico de propulsión.

Es preciso destacar que el trabajo mecánico realizado por los organismos vivos está potenciado directamente por la energía química, mientras que las máquinas hechas por el hombre para realizar trabajo mecánico trabajan con energía térmica o eléctrica.

Estos tres tipos de trabajo realizado por los organismos vivos conducen en definitiva a la disipación de energía y su dispersión en el entorno. Debido a que existe energía biológica, una gran fracción de la energía originalmente capturada de la luz solar por la célula de la planta verde se pierde en el entorno en forma de calor. Incluso la realización final del trabajo celular produce liberación de energía. Por ejemplo, cuando una persona coloca ladrillos para construir una pared, realiza trabajo mecánico sobre su entorno; con el tiempo, sin embargo, la pared se derrumba y sus componentes se desordenarán en el entorno. El trabajo realizado en la biosíntesis y en el mantenimiento de los electrolitos intracelulares se libera también cuando las células mueren y sus contenidos se liberan en el entorno (Nicholls y Ferguson, 2002).

En el flujo de energía en el mundo biológico, por lo tanto, se tiene una inevitable e irreversible degradación de la energía. La energía útil de “alto grado” de la luz solar se convierte en energía química de “grado medio” de las moléculas orgánicas y ésta, a su vez, se disipa y se dispersa en el medio. El flujo de energía en el mundo biológico es **unidireccional** e **irreversible**, puesto que una vez la energía se dispersa nunca puede volver a producir trabajo biológico

## **PALABRAS CLAVES**

Energía

Termodinámica

Entropía

Reacciones endergónicas

Reacciones exergónicas

ATP

Enzimas

Coenzimas

Respiración celular

Respiración oxigénica

Respiración anoxigénica

Glucólisis

Acetil CoA

Ciclo del ácido cítrico

Sistema de transporte de electrones

Fermentación láctica

Fermentación alcohólica

Fermentación acética

Fotosíntesis

Cloroplasto

Clorofila

Reacciones fotodependientes

Ciclo de Calvin Benson

## BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, Peter *et al.* 1992. Biología. New Jersey. Prentice Hall.

AUDERSIK, Teresa y Gerald AUDERSIK. 2006. Biología. La vida en la tierra. 4a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

BARBER, J. 1992 The photosynthesis structure, function and molecular Biology. Topics in photosynthesis, vol 15 Elsevier.

BENKOVIC, S. J. and S. HAMMES-SCHIFFER. 2003. A perspective on enzyme catalysis. Science 301: 1196-1202.

BERG, J. M. *et al.* 2007. Biochemistry 6<sup>th</sup> ed USA: W.H. Freeman

BERNSTEIN, Ruth y Stephen BERNSTEIN. 1998. BIOLOGÍA. 10a ed. Bogotá: Mc Graw-Hill Interamericana

BROCK, Thomas D. y Michael T. MADIGAN. 2011. Microbiología. 12a ed. México: Prentice Hall.

BROWN, William H. 2002. Química orgánica. 2a ed. México. CECSA

COOPER, Geoffrey M. y Robert E. HAUSMAN. 2011. La célula. 5a ed. Madrid: Marbán.

GREGORY, R.P.F. 1989. Photosynthesis, 3a ed. Wiley.

HART, Harold *et al.* 2007. Química orgánica. 12a ed. México: Mc Graw-Hill.



KARP, Gerald. 2011. Biología celular y molecular. 6a ed México: Mc Graw-Hill.

KATZ, Jhon *et al.* 2005. Química y reactividad química. 6a ed. México: Thomson Interamericana.

LEHNINGER, Albert L. 1995. Bioenergética. USA: Fondo Educativo Interamericana.

LOZANO, J. A. 2000. Bioquímica Y Biología Molecular. Madrid. Mc Graw-Hill Interamericana.

MADER, Sylvia. 2008. Biología. 9a ed. México. Mc Graw-Hill.

MORRINSON, Robert. y Robert N. BOYD. 1976. Química orgánica. Bogotá: Fondo Educativo Interamericana.

NELSON, D.L. and M.M COX. 2005. Lehninger Principles of Biochemistry. 4th ed. New York: W. H. Freeman.

NICHOLLS, D. G. and S. J. FERGUSON. 2002. Bioenergetics, 3<sup>rd</sup> ed. London: Academic Press.

OVERMIRE, Thomas G. 2010. Biología 2<sup>a</sup> ed. México: Limusa.

PANIAGUA, Ricardo *et al.* 2007. Biología Celular. 3a ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.

PETSKO, G.A. and D. RINGE. 2003. Protein structure and Function. Sunderland, MA: Sinauer.

PURVES, William K. et al. 2001 Life. The Science of Biology. 6<sup>th</sup> ed. USA: Sinauer Associates.

RECIO DEL BOSQUE, Francisco. 2004. Química Orgánica. 2a ed. México. Interamericana. Mc Graw-Hill.

RINGE, D. and G. A. PETSKO. 2008. How enzymes work. Science 320: 1428-1429.

RUÍZ, Manuel. 1999. Bioquímica estructural. México. Alfa-Omega.

SOLOMON, Eldra Pearl *et al.* 2011. Biología de Villée. 8a ed. México: Interamericana McGraw-Hill.

STAEHELIN, L. A. y C.J. ARNTZEN. 1987. Photosynthetic membranes and light Harvesting systems. Encyclopedia of plant physiology. Vol 19. Springer-Verlag.

STARR. Cecie y Ralph, TAGGART, 2004. Biología 10a ed. México: Thomson.

VOET, D. and J. G. VOET. 2004. Biochemistry. 4th ed. 2 vol. USA: Wiley.



## **REPRODUCCIÓN**

---

### **INTRODUCCIÓN**

Hasta hace relativamente poco tiempo, mitad del siglo XX, era común la creencia de que los bebés venían al mundo porque los traía la cigüeña. Nuestros antepasados conocían, por supuesto, que un bebé nace de una mujer, puesto que era un hecho observable cotidianamente. Pero se desconocía cómo se formaba el bebé y cuál era su desarrollo embrionario. Ante la ausencia de información válida, la gente de la época medieval (500-1500 D.C.) inventó mitos para explicar el origen de los niños, como el mencionado de la cigüeña.

La relación entre el coito y el recién nacido sólo se entendió cuando se descubrieron y estudiaron los espermatozoides y el óvulo, a finales del siglo XVII, a través del microscopio. No obstante, el espermatozoide inicialmente fue considerado como un terrible parásito que infectaba a los hombres únicamente. La participación del espermatozoide y del óvulo en la reproducción humana solo se logró clarificar hacia finales del siglo XIX.

### **6.1. MECANISMOS DE DIVISION CELULAR**

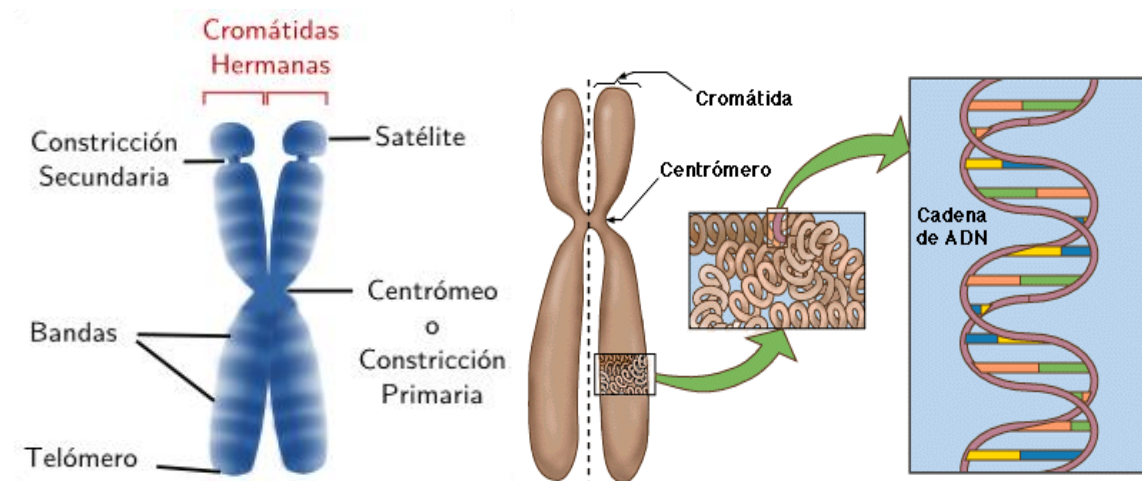
Cuando una célula alcanza un tamaño determinado deja de crecer o bien, se divide. Algunas células, como las nerviosas, las del músculo esquelético y los glóbulos rojos, generalmente no se dividen al madurar. Existen cuando menos dos razones prácticas que inducen a la división de las células. Primera, se requiere la reposición de las células muertas y la división celular asegura un suministro continuo de repuestos uniformes, según el modelo. Segunda, se precisan más unidades estructurales para el crecimiento de los organismos, especialmente en las primeras etapas del desarrollo, cuando el crecimiento es más rápido.

Las células se pueden dividir mediante dos procesos o mecanismos: mitosis **o meiosis**. Durante la mitosis, las **células somáticas** forman cromosomas a partir de los filamentos del ADN del núcleo y los distribuyen, produciendo finalmente dos células hijas idénticas a la célula madre. Todas las células son diploides ( $2n$ ) y todas las células hijas producidas mediante división mitótica son diploides ( $2n$ ).

El otro proceso de división celular comprende la formación de células sexuales, mecanismo conocido como meiosis, el cual se asemeja superficialmente a la mitosis, pero tiene una diferencia importante: la meiosis produce células hijas que son haploides ( $n$ ), es decir, contienen sólo la mitad del número cromosómico encontrado en las células diploides. Estas células hijas se denominan **células sexuales o gametos** (Ehrlich *et al*, 2004).

### 6.1.1. Estructura de los cromosomas

La cromatina que se observa en el núcleo interfásico se condensa, unas 100 veces, durante la mitosis, organizándose como cromosomas visibles en la célula que va a dividirse. En el genoma humano existen 46 cromosomas: 44 autosomas y 2 cromosomas sexuales. En la mujer la fórmula es 44, XX y en el hombre 44, XY (Purves *et al*, 2001)

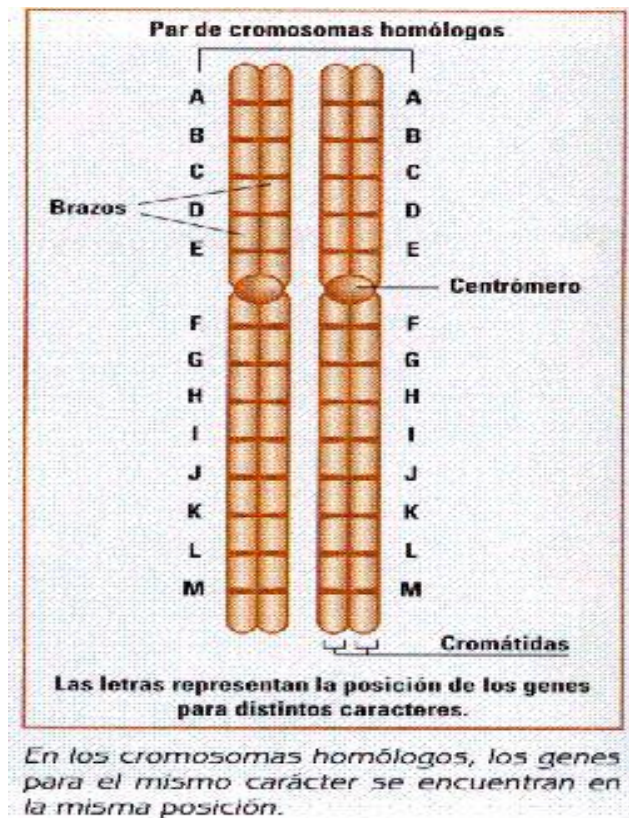


**Figura 6.1.** Estructura de los cromosomas humanos.

Al microscopio óptico, el cromosoma metafásico presenta dos cromátidas hermanas

idénticas (cada cromatida contiene una molécula de ADN) que conectan en una región adelgazada del cromosoma: la constricción primaria o centrómero. El centrómero permite dividir el cromosoma en dos brazos, uno corto p y uno largo, q (p= pequeño). El extremo de cada brazo del cromosoma se denomina telómero. Ver Figura 6.1.

Cada célula somática humana está formada por dos juegos de cromosoma, que son homólogos entre sí. Cada juego contiene un número haploide "n" de cromosomas (23), con los que estas células contienen "2n" y son, por ello diploides (46).



**Figura 6.2.** Representación de los cromosomas homólogos.

Cada pareja de cromosomas homólogos tienen las mismas características morfológicas (salvo polimorfismos) y los genes situados en ambos contienen información para el control de los mismos caracteres. Sin embargo, su procedencia es distinta, uno es de origen paterno y otro materno, por lo que dicha información no es necesariamente la misma. Ver Figura 6.2.

Los gametos o células sexuales, a diferencia de las células somáticas, contienen “n” cromosomas, es decir son haploides. Sus cromosomas no tienen el correspondiente homólogo.

Un pequeño porcentaje de células de ciertos tejidos (como por ejemplo, el hígado de los mamíferos) contienen 4 n, 8 n y hasta 16 n cromosomas. Estos núcleos son llamados **poliploides** (poli, mucho) y como contienen 4, 8 y 16 veces más ADN que los núcleos haploides, reciben el nombre más específico de núcleos **tetraploides**, **octoploides** y **hexadecaploides**, respectivamente. El número de cromosomas en las distintas especies biológicas es muy variable y va desde  $2n = 2$ , en la lombriz intestinal del caballo, **Ascaris megalocefala**, variedad univalente, hasta más de 1.000 en ciertos protozoarios. Ver Tabla N° 2.1.

**Tipos de cromosomas:** Existen varios sistemas de clasificación de los cromosomas. Según el patrón de herencia de los genes que ellos contienen, los cromosomas se dividen en gonosomas o cromosomas sexuales (X e Y) y autosomas (los otros 44).

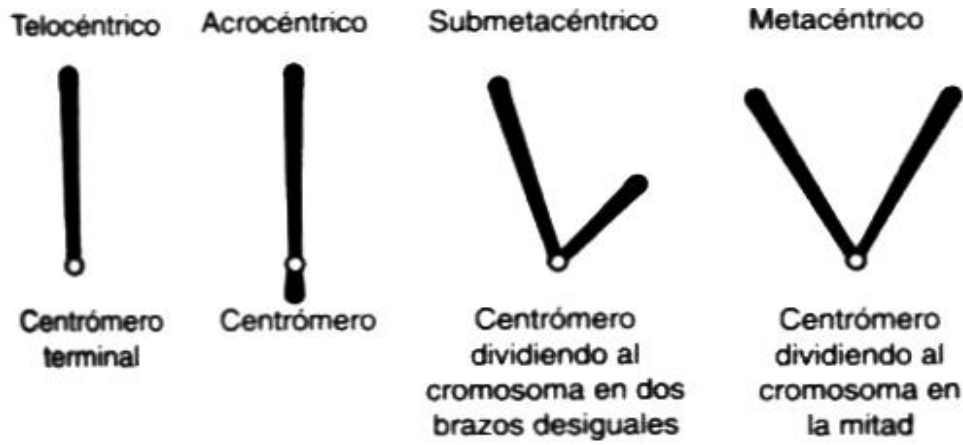
En la especie humana aparece un par de cromosomas cuyos componentes son morfológicamente diferentes en uno de los sexos. Son los **cromosomas sexuales**. En el sexo femenino existen dos cromosomas X, mostrando una morfología semejante, mientras que en el sexo masculino los dos cromosomas sexuales son X, Y de morfología diferente. Los demás cromosomas (44) son conocidos como autosomas (Cooper y Hausman, 2011).

El sexo masculino que presenta dos cromosomas diferentes recibe el nombre de **heterogamético** (**heteros**, diferente) por producir gametos alternativamente con uno o con otro cromosoma sexual. En cambio, el sexo femenino se denomina **homogamético** (homos, igual) por producir todos sus gametos con el mismo tipo de cromosoma sexual. Los mamíferos presentan un sexo masculino heterogamético, en cambio en las aves, el sexo heterogamético es el femenino. En los reptiles se encuentran ambos tipos de determinación sexual.

Según la posición del centrómero, los cromosomas se clasifican en:

1. Metacéntricos, central, Con centrómero central
2. Submetacéntricos, con centrómero ligeramente desplazado en el centro

3. Subtelocentricos o acrocéntricos, con centrómero cercano a uno de los extremos del cromosoma (los brazos son desiguales).
4. Telocéntricos, con centrómero en un extremo cromosómico. Ver Figura 6.3.



**Figura 6.3** Tipos de cromosomas. La posición del centrómero en los cromosomas permite clasificarlos en cuatro tipos diferentes.

El estudio morfológico de los cromosomas muestra que existe una copia idéntica de cada cromosoma por cada célula diploide. Por lo tanto, en los núcleos existen pares de cromosomas llamados **homólogos**. Se dice que una célula es haploide **n** (**haplois**, simple y **eidos**, forma) cuando contiene el número básico de cromosomas de la especie, como es el caso de los gametos (espermatozoides y óvulos) y diploide **2n** cuando posee un juego doble de cromosomas. En la mayoría de los seres pluricelulares, las células somáticas tienen  $2n$  cromosomas, siendo por ello diploides.

**Cariotipo.** Cada cromosoma de los seres eucariotas está constituido por una sola y larga cadena de ADN, dispuesta en doble hélice y asociada a proteínas. Esta cadena se condensa mucho durante la mitosis. Durante la metafase de la mitosis y en ese momento por su tamaño, longitud y ubicación del centrómero los cromosomas son más fáciles de identificar. Un **cariotipo** es una preparación de cromosomas en metafase basada en sus características de definición. En esta fase, los cromosomas se vuelven fácilmente visibles en el microscopio óptico (Starr y Taggart, 2004).

El estudio del cariotipo permite visualizar al grupo de características que permiten la identificación de un conjunto cromosómico, tales como número de cromosomas, tamaño relativo, posición del centrómero, largo de los brazos, constricciones secundarias, satélites, etc. El cariotipo es característico de una especie, de un género o de grupos amplios, y se representa por una serie ordenada de los **pares de cromosomas homólogos** de tamaño decreciente (Junqueira y Carneiro, 1998). Ver figura 6.4.

Mediante el empleo de técnicas avanzadas se logra teñir los cromosomas en subunidades definidas denominadas **bandas**. Existen varias técnicas de coloración, basadas en principios diferentes que producen bandas de distribución, pero cuando se usa una técnica, el número, posición o dimensión de cada banda que se revela es específico y constante para cada cromosoma. Esta especificidad permite identificar de manera precisa los cromosomas humanos y mejorar sensiblemente el **análisis del cariotipo**. Se han descrito en cromosomas metafásicos, 277 bandas y más de 1.000 en cromosomas profásicos, ya que aparecen en esta fase más claramente visibles que en los cromosomas metafásicos (Vaidyanath, 2009).

## 6.2. CICLO CELULAR EUCARIOTA.

El ciclo de la división de la mayoría de las células consiste en cuatro procesos coordinados:

- Crecimiento celular,
- Replicación del ADN,
- Distribución los cromosomas duplicados a las células hijas.
- División celular.

En las bacterias, el crecimiento celular y la replicación del ADN tienen lugar durante la mayor parte del ciclo celular, y los cromosomas duplicados se distribuyen a las células hijas asociados a la membrana plasmática. (Morgan, 2007).

Sin embargo, en los eucariotas el ciclo celular es más complejo y consiste en cuatro fases diferenciadas. Aunque el crecimiento celular suele ser un proceso continuo, el ADN se sintetiza sólo durante una fase del ciclo celular y, entonces, los cromosomas replicados se distribuyen a los núcleos hijos mediante una compleja serie de procesos que preceden a la división celular (Morgan, 2007).

**Fases del ciclo celular.** En el curso de su vida, todas las células pasan fundamentalmente por dos períodos: uno de **interfase** (o de no división) y otro de **división o mitosis**, por medio del cual se producen dos células hijas. Este ciclo se repite en cada generación celular, pero el tiempo varía considerablemente de un tipo celular a otro. Existen células que tienen ciclos breves de vida y se dividen muy a menudo, mientras que otras poseen períodos muy largos, tan largos como la vida del organismo (por ejemplo, la célula nerviosa).



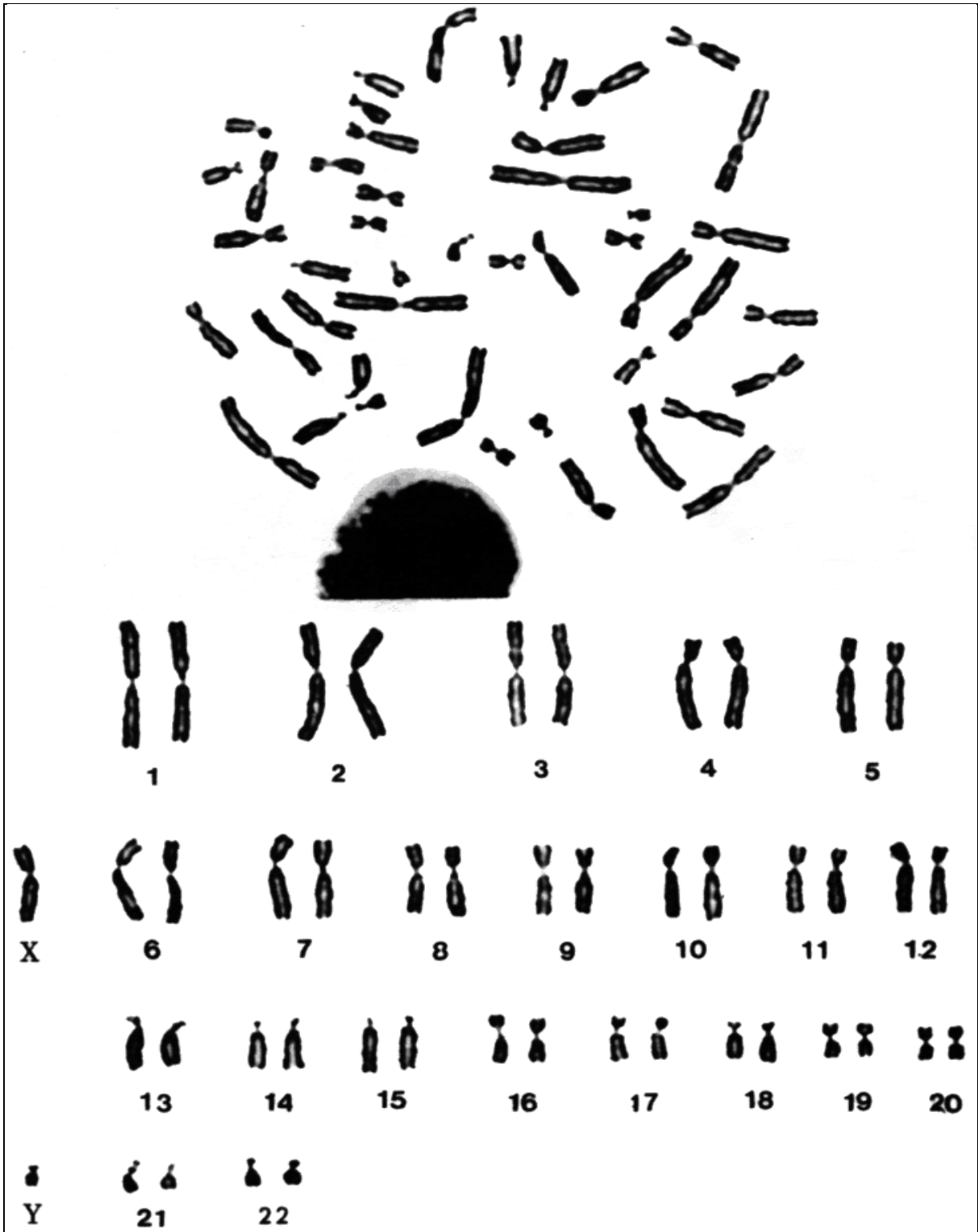
A causa de los profundos cambios que el microscopio óptico permite observar, el período de división o mitosis constituyó durante muchos años el punto de interés primordial para los citólogos, mientras que la interfase fue considerada como una fase de “reposo”. Sin embargo, la mayoría de las células la mayor parte de su vida en **interfase** que es un período de intensa actividad biosintética, durante el cual se duplica su tamaño y el complemento cromosómico. A continuación se describen los principales aspectos de la **interfase** y de la **mitosis**. (Murray, 2004).

**Interfase.** Aunque la mitosis constituye morfológicamente la etapa más notable, es en la interfase cuando ocurre la duplicación de los componentes moleculares de la célula madre.

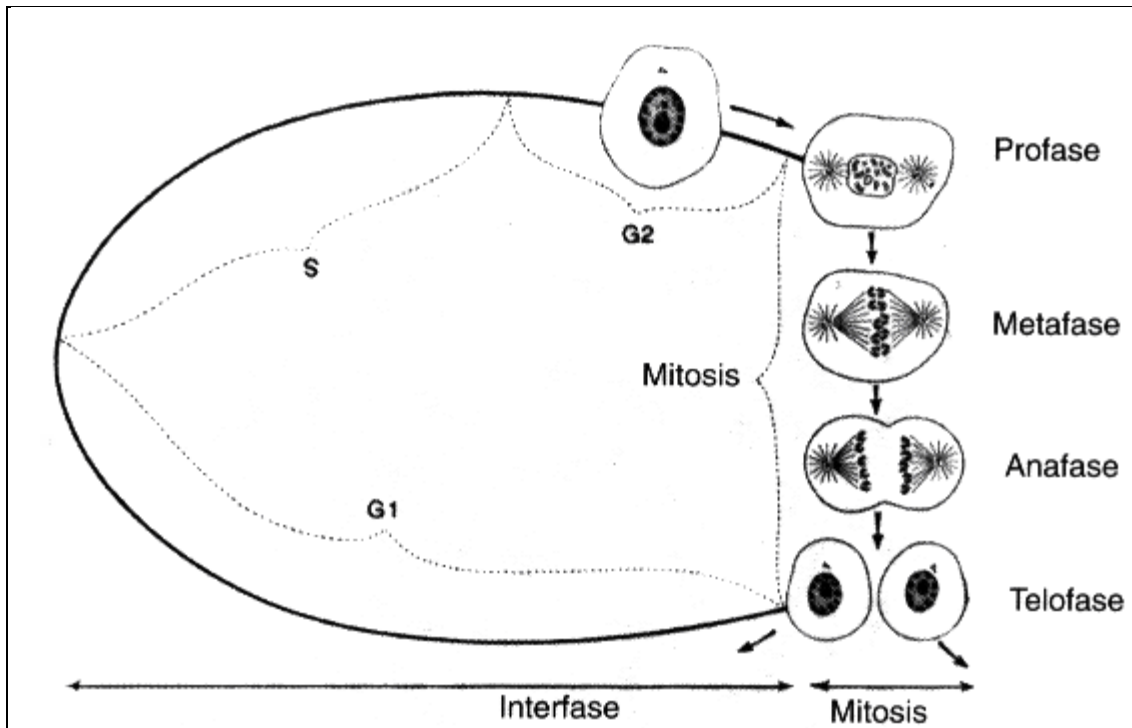
Este descubrimiento permitió la división de la interfase en tres períodos, llamados G<sub>1</sub>, S y G<sub>2</sub>. La abreviación G proviene del término inglés gap (intervalo).

La duración del ciclo varía mucho de un tipo celular a otro. En una célula de mamífero en cultivo de tejidos con un **tiempo generacional** de 16 horas, los períodos serían: G<sub>1</sub> = 5 horas; S = 7 horas; G<sub>2</sub> = 3 horas y mitosis = 1 hora. Ver tabla 6.1.

En general, los períodos S y G<sub>2</sub> y la mitosis son relativamente constantes en diversas células de un organismo. El más variable es G<sub>1</sub>, en relación con la condición fisiológica. Este puede durar desde unas pocas horas hasta días, meses o años. En los tejidos de rápida renovación, cuyas células están constantemente en división, el **período G<sub>1</sub>** es corto; un ejemplo es el epitelio que reviste el intestino delgado, que se renueva en el hombre cada tres días. Otro tejido con



**Figura 6.4** Cariotipo humano. Arriba aspecto de un micropreparado que se obtiene aplastando una célula humana en metafase. Abajo, cromosomas ordenados de acuerdo a su morfología. (Tomado de Junqueira-Carneiro)



**Figura 6.5.** Ciclo celular. A la izquierda, la interfase con la fase G1, S y G2. A la derecha, la mitosis. La duración de la fase G1 es variable ya que depende de la frecuencia con que las células de un tejido se dividen. (Tomado de Junqueira-Carneiro)

Tipo	mitosis	G1	s	G2
Epitelio intestinal de rata.	1	9	7	1 a 5
Meristema de raíz	2 a 6	5 a 15	10 a 30	3 a 9
Células osteoprogenitoras	3	25	8	2.5 a 3
Fibroblastos en cultivo	0.5 a 2	6	8	5

**Tabla 6.1:** Fases del ciclo celular. Duración expresada en horas.

intensa proliferación es la médula ósea, donde se forman los glóbulos rojos y algunos glóbulos blancos de la sangre. (Rieder y Khodjakov, 2003).

Todos estos tejidos son extremadamente sensibles a tratamientos que afectan la replicación del ADN (drogas o radiaciones), razón por la cual son los primeros en ser dañados en tratamientos de quimioterapia del cáncer o de radioterapia en general. Todos estos tratamientos afectan generalmente el metabolismo de los ácidos nucleicos. Otros tejidos no manifiestan daño tan rápidamente, por presentar una tasa de proliferación menor, tal como ocurre en la epidermis. Por otro lado, los tejidos que normalmente no se dividen (como células nerviosas o músculo esquelético) o que se dividen poco (linfocitos) se hallan en período G<sub>1</sub>. En una célula en cultivo se puede regular la duración del ciclo celular suspendiendo su multiplicación en un punto específico del G<sub>1</sub>; se dice entonces que las células se detienen en estado G<sub>0</sub> en el cual aquella se ha retirado del ciclo celular.

En determinadas condiciones la velocidad de reproducción de un tejido se puede modificar. Si se extirpa de un vertebrado una porción de piel o de hígado, se observa que después de un corto período se inicia en esos tejidos una activación de las mitosis que perdura hasta terminar la reparación o sustitución del tejido extraído. A este fenómeno se da el nombre de **regeneración**, y su estudio permite analizar ciertos factores que controlan la división celular. (Anderson y Hetzer, 2008).

En el **S** o **intervalo de síntesis**, ocurre la replicación del ADN y es el momento en el cual se sintetizan las histonas y otras proteínas asociadas al ADN. La duplicación de los cromosomas se trata en detalle en la Unidad 3.

En el intervalo **G<sub>2</sub>** ocurren los procesos finales para la división celular. Los cromosomas recién duplicados se enrollan lentamente y forman una masa compacta. El par de centriolos completan su duplicación y los dos pares de centriolos maduros se disponen uno perpendicular al otro, justo por fuera de la envoltura nuclear. En este intervalo igualmente comienza el ensamble de estructuras especiales, como el huso mitótico, requeridas para suministrar un conjunto completo de cromosomas a cada célula hija durante la mitosis y para separar a las dos células hijas durante la citocinesis. (Sullivan y Morgan, 2004).

El análisis del ciclo celular requiere que las células se identifiquen en las diferentes etapas indicadas anteriormente. Aunque las células mitóticas se pueden distinguir al microscopio, las células en las otras fases del ciclo ( $G_1$ , S y  $G_2$ ) han de ser identificadas mediante criterios bioquímicos.

En la mayoría de los casos, las células en estadios diferentes del ciclo celular se diferencian por su cantidad de ADN. Por ejemplo, las células animales en  $G_1$  son diploides (contienen dos copias de cada cromosoma), por lo que se dice que su cantidad de ADN es  $2n$  (se designa por  $n$  al contenido de ADN haploide en el genoma). Durante la fase S, mediante la replicación se aumenta la cantidad de ADN de la célula de  $2n$  a  $4n$ , por lo que las células en fase S tendrán una cantidad de ADN entre  $2n$  y  $4n$ . El contenido de ADN se mantiene en  $4n$  en las células en  $G_2$  y en M, y se reduce a  $2n$  tras la citocinesis. La cantidad de ADN celular se puede determinar experimentalmente incubando las células con una tinción fluorescente que se une al ADN, y posteriormente analizando la intensidad de la fluorescencia en las células individuales por **citometría del flujo** o mediante un separador **celular de fluorescencia**; de esta manera se distinguen las células en las fases  $G_1$ , S y  $G_2$ /M del ciclo celular (Kennedy et al, 2000).

### 6.3. MITOSIS.

La fase M es el período más llamativo del ciclo celular, en el que se produce la reorganización de casi todos los componentes de la célula. Durante la mitosis (división nuclear) los cromosomas se condensan, la envoltura nuclear de la mayoría de las células se desintegra, el citoesqueleto se reorganiza para formar el huso mitótico, y los cromosomas migran a polos opuestos. (Kline-Smith y Walczar, 2004).

Aunque muchos de los detalles de la mitosis varían entre los diferentes organismos, los procesos básicos que aseguran la segregación fidedigna de las cromátidas hermanas se conservan en todos los eucariotas. Entre estos procesos básicos de la mitosis se incluyen:

- La condensación de los cromosomas,
- La formación del huso mitótico
- La unión de los cromosomas a los microtúbulos del huso.

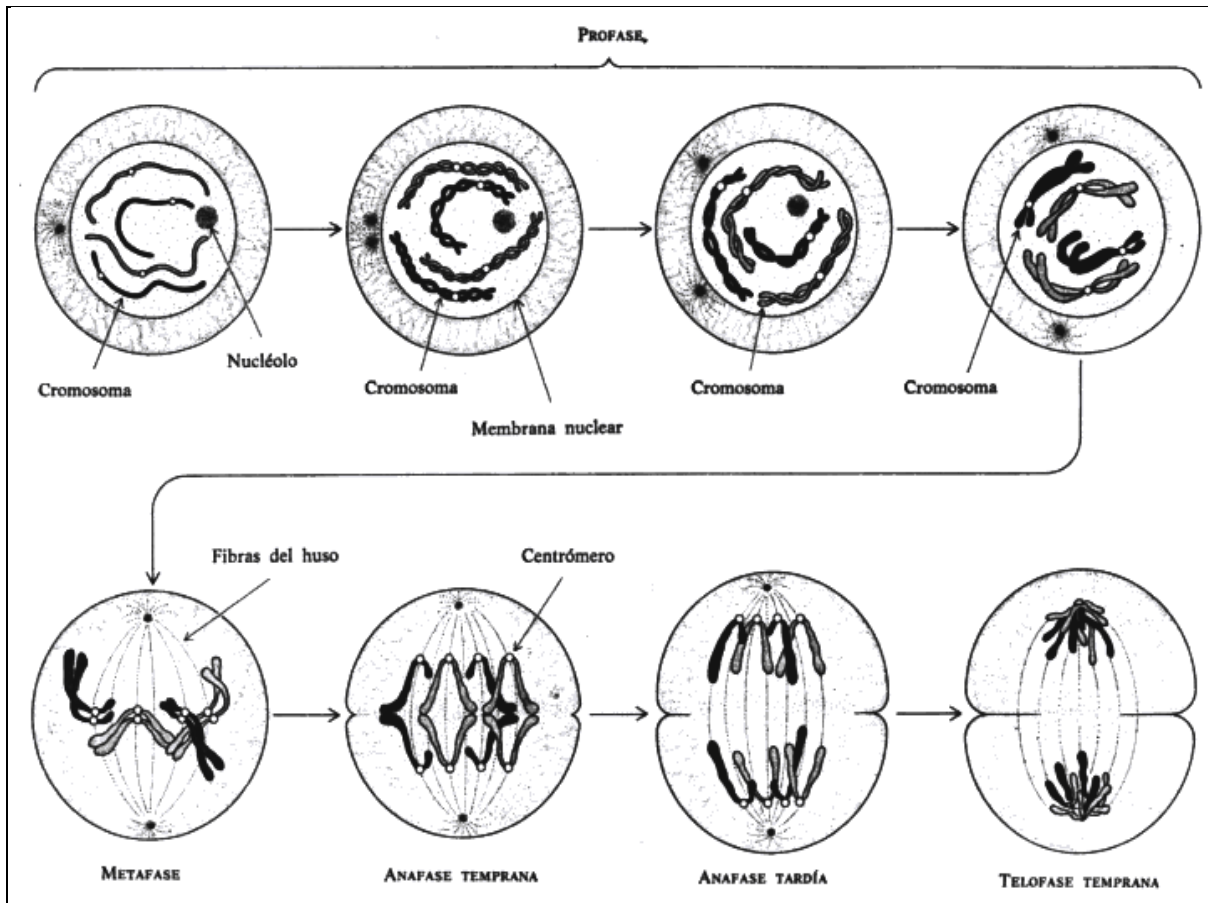
Una vez llegado este punto, las cromátidas hermanas se separan y migran a polos opuestos del huso, tras lo que se forman los núcleos hijos.

**Etapas de la mitosis.** La mitosis es un proceso continuo, en donde una fase se fusiona imperceptiblemente con la siguiente. Sin embargo, por razones descriptivas, la mitosis se divide en cuatro etapas: profase, metafase, anafase y telofase. La mitosis está programada para llevarse a cabo de acuerdo con un horario estricto, casi 40 horas en las amibas y cada 20 minutos en ciertas bacterias. Todavía se desconoce gran parte de los mecanismos que controlan este horario. A continuación se describen los eventos que ocurren en la mitosis de una célula animal. (Gadde y Heald, 2004).

**Profase.** Al comienzo de la **profase** los cordones de la cromatina se enrollan lentamente y se condensan adoptando una forma compacta. En esta forma los cromosomas se tornan visibles al microscopio; cada uno consiste en dos réplicas llamadas **cromátidas**. Las dos cromátidas permanecen unidas, su punto de unión es un llamado **centrómero**.

Durante la profase los pares de centríolos empiezan a alejarse el uno del otro. Entre los pares de centríolos y a medida que éstos se separan aparecen las fibras del huso. Estas fibras consisten en microtúbulos y otras proteínas. Desde los centríolos radian otras fibras adicionales, conocidas en conjunto como **áster**. Para entonces, los nucleolos han dejado de ser visibles. (Karp, 2011).

La envoltura nuclear se disgrega a medida que los cromosomas se condensan. Al final de la profase, los cromosomas se han condensado por completo y ya no se encuentran separados del citoplasma. Al terminar la profase, los pares de centríolos están en extremos opuestos de la célula y los miembros de cada par tienen el mismo tamaño. El huso se ha formado por completo.



**Figura 6.6.** Diagrama de la mitosis de la célula animal.

**Metafase.** Al comienzo de la **metafase**, los pares de cromátidas se desplazan en vaivén dentro del huso al parecer impulsados por las fibras de éste. Primero parecen ser atraídos hacia un polo y después hacia el otro, hasta que, por último, se disponen con exactitud en el plano medio (plano ecuatorial = mitad de la célula). Esto señala el final de la metafase.

**Anafase.** En el inicio de la **anafase**, los centrómeros se separan simultáneamente en todos los pares de cromátidas. Las cromátidas de cada par se separan entonces, cada una es arrastrada hacia el polo opuesto por las fibras del huso; cada cromátida se convierte en un cromosoma.

Los centrómeros abren la marcha, y los brazos de los cromosomas parecen seguirlos. A medida que la anafase continúa, los dos juegos idénticos de cromosomas recién separados se desplazan hacia los polos opuestos del huso. La anafase es la etapa más rápida de la mitosis. (Blagden y Glover, 2003).

**Telofase.** Cuando comienza la **telofase**, los cromosomas han llegado a los polos opuestos. El huso se dispersa en dímeros de tubulina, subunidades de proteínas globulares que constituyen los microtúbulos. Al final de la telofase se forman las envolturas nucleares en torno a los dos juegos de cromosomas, que una vez más se tornan difusos. En cada núcleo reaparecen los nucleolos. A menudo empieza a formarse un nuevo centríolo junto a cada uno de los anteriores. La replicación de los centríolos continúa durante el resto del ciclo celular, de modo que cada célula tiene dos pares de centríolos en la profase de la división mitótica siguiente.

**Citocinesis.** La citocinesis, división del citoplasma, suele acompañar a la mitosis, división del núcleo, pero no siempre. El proceso visible de la citocinesis suele empezar en la telofase de la mitosis y por lo general divide la célula en dos partes más o menos iguales. (Glotser, 2005).

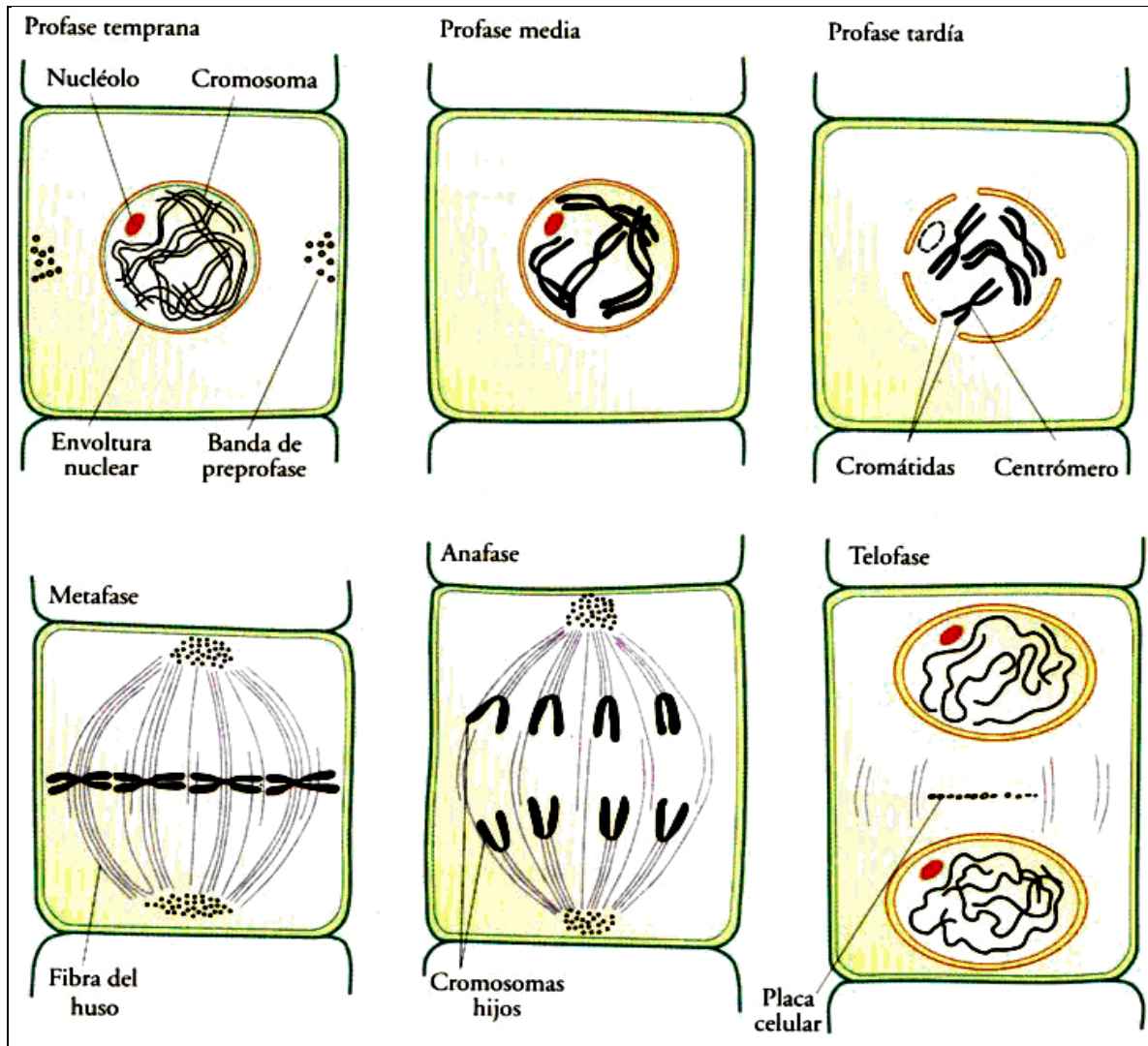
La citocinesis difiere en ciertos aspectos en las células de las plantas y de los animales. En las células animales, durante la telofase, la membrana celular empieza a estrecharse a lo largo de la circunferencia de la célula, en el área donde estaba el ecuador del huso. Al principio se forma en la superficie una depresión que poco a poco se profundiza para convertirse en un surco hasta que la conexión entre las células hijas queda reducida a un hilo fino que posteriormente se rompe. Cerca de los husos aparece grandes cantidades de microfilamentos de actina.

En las células vegetales, el citoplasma se divide en la línea media por una serie de vesículas producidas por los cuerpos de Golgi. Estas vesículas se fusionan para formar una membrana plana, **la placa celular**, la cual es atravesada por delgadas conexiones citoplásmicas denominadas **plasmodesmos** que permiten la comunicación entre células adyacentes.

A medida que se fusionan más vesículas, los bordes de la placa en crecimiento se fusionan con la membrana de la célula, estableciéndose un espacio entre las dos células hijas, completándose la separación de éstas (Izco et al, 2010).

En última instancia este espacio se impregna de pectinas que forman las láminas medias, así, cada célula nueva construye luego su propia pared celular depositando celulosa y otros polisacáridos contra la superficie externa de su membrana celular. Una vez completada la división celular, se producen dos células hijas más pequeñas que la célula madre pero en otros sentidos indistinguible de ella e iguales entre sí.

Hasta cierto punto, los rayos X y la radiación gamma inhiben la mitosis. La radiación ionizante pueden separar los cromosomas o causar anomalías que interrumpan la sincronización de la secuencia mitótica. Así, la radiación ionizante es útil para tratar el cáncer, por cuanto, si bien las células cancerosas no sanan, ellas son incapaces de seguir dividiéndose. (Jurgens, 2005).



**Figura 6.7.** Mitosis de una célula vegetal. Se representan las etapas o fases que ocurren en las células de ápice radical de la cebolla cabezona (*Allium cepa*) en proceso de división.

#### 6.4. MEIOSIS.

Los ciclos de las células somáticas tratados hasta el momento en esta unidad, dan lugar a dos células hijas diploides con una dotación genética idéntica. Por el contrario, la meiosis es un tipo de ciclo celular especializado que reduce el número de cromosomas a la mitad, dando lugar a células hijas haploides.

Los eucariotas unicelulares, como las levaduras, pueden sufrir meiosis así como reproducirse por mitosis. Por ejemplo, la levadura diploide *Saccharomyces cerevisiae* sufre la meiosis y produce esporas cuando se encuentra en condiciones ambientales desfavorables.



Sin embargo, en las plantas y en los animales pluricelulares la meiosis sólo se produce en las células germinales, donde resulta esencial para la reproducción sexual. Mientras que las células somáticas realizan la mitosis para proliferar, en las células germinales tiene lugar la meiosis para producir gametos haploides (el espermatozoide y el óvulo). El desarrollo de un nuevo organismo comienza con la fusión de estos gametos en la fecundación. (Petronczki, 2003).

**Procesos de la meiosis.** A diferencia de la mitosis, la meiosis supone la división de una célula parental diploide en una progenie haploide, de tal manera que cada célula contiene sólo un miembro del par de cromosomas homólogos presentes en el progenitor diploide. Esta reducción en el número de cromosomas se realiza mediante dos rondas consecutivas de división nuclear y celular (denominadas meiosis I y meiosis II), que ocurre tras una única ronda de replicación del ADN.

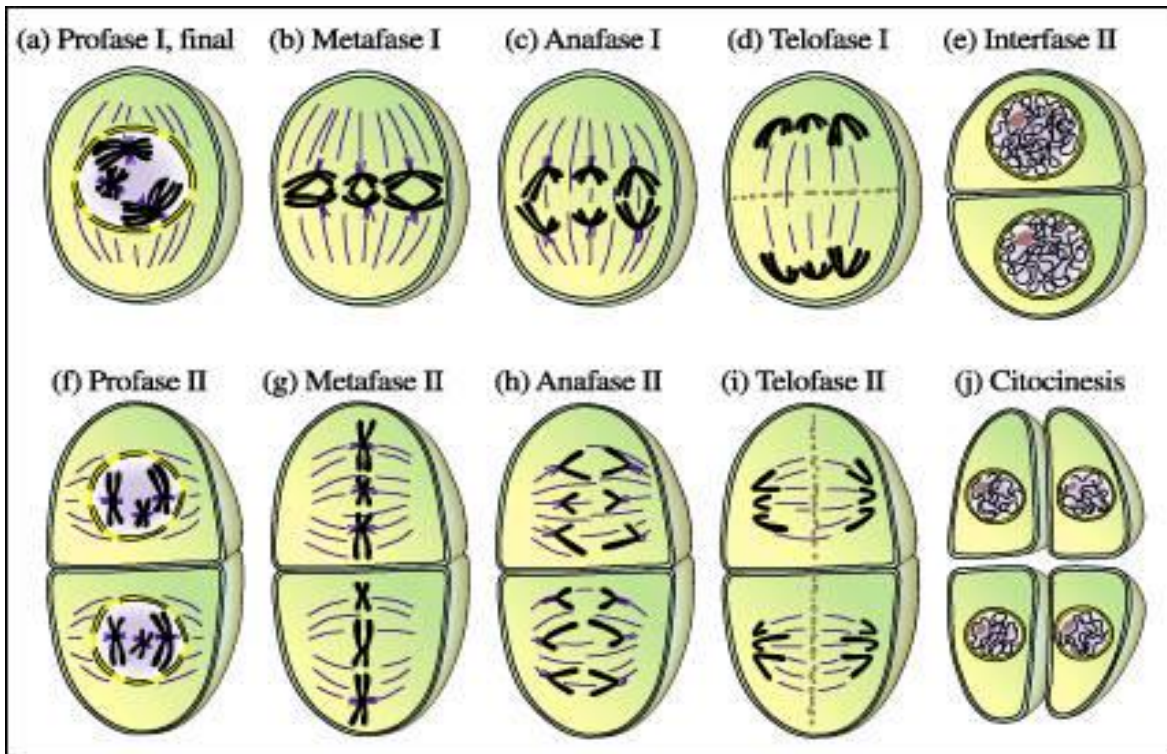
Al igual que la mitosis, la meiosis I comienza después de que finalice la fase S y de que los cromosomas parentales se hayan replicado para producir cromátidas hermanas idénticas. Sin embargo, el patrón de la segregación de los cromosomas en la meiosis I es muy diferente al de de la mitosis. Durante la meiosis I, los cromosomas homólogos primero se emparejan unos con otros y luego segregan a células hijas diferentes.

Las cromátidas hermanas permanecen unidas, por lo que tras la meiosis I se obtienen células hijas que contienen un único miembro de cada par cromosómico (cada uno de los cuales está constituido por dos cromátidas hermanas). Tras la meiosis I se produce la meiosis II, que se asemeja a la mitosis en que las cromátidas hermanas se separan y segregan a diferentes células hijas. Por tanto, la meiosis II da como resultado cuatro células hijas haploides, cada una de las cuales contiene una copia de cada cromosoma.

El apareamiento de los cromosomas homólogos tras la replicación del ADN no sólo es un proceso clave que subyace a la segregación de los cromosomas en la meiosis, sino que también permite la recombinación entre los cromosomas de origen paterno y materno.

Este apareamiento crucial de los cromosomas homólogos tiene lugar durante una larga profase en la meiosis I, que se divide en cinco etapas (**leptoneno, zigoteno, paquiteno, diploteno y diacinesis**) en función de la morfología cromosómica. (Page y Hawley, 2003).

**Etapas de la meiosis.** Las dos divisiones nucleares que comprende el proceso meiótico se designan convencionalmente como **Meiosis I** y **Meiosis II** o primera división y segunda división meiótica. Normalmente en la meiosis I se aparean y luego se separan los cromosomas homólogos mientras que en la meiosis II se separan las cromátidas de cada homólogo. Cada división meiótica incluye profase, metafase, anafase y telofase.



**Figura 6.8.** Representación de las etapas de la meiosis.

**Meiosis I.** Comprende las siguientes etapas:

**Profase I.** Durante la profase I, mientras las cromátidas son largas y delgadas, los **cromosomas homólogos** quedan juntos en toda su longitud, mediante un proceso llamado **sinapsis**. Un cromosoma de cada par es un cromosoma materno, heredado del individuo que funcionó como madre, mientras que el otro miembro de cada par es el cromosoma paterno que proviene del padre.

Puesto que cada cromosoma fue duplicado durante la interfase y consta de hecho de dos cromátidas, la sinapsis da por resultado el agrupamiento de cuatro cromátidas, con lo que se integra un complejo llamado **tétrada**. El número de tétradas es igual al número haploide de cromosomas. (Pawlowski y Cande, 2005).

Cuando los cromosomas homólogos se aparean durante la sinapsis, sus

cromátidas a menudo se doblan una alrededor de otra. A veces las cromátidas se rompen e intercambian partes. Este intercambio de secciones de cromátidas entre cromosomas homólogos durante la meiosis se llama **entrecruzamiento o crossing - over** y la recombinación genética que se obtiene aumenta significativamente las probabilidades de variación entre los descendientes de una pareja sexual.

En muchas especies, la profase I es una etapa muy prolongada durante la cual la célula crece y sintetiza nutrientes. Esto ocurre especialmente durante la formación de óvulos en la mujer ya que se necesita almacenar materiales en beneficio del futuro embrión.

**Metafase I.** Las tétradas se alinean a lo largo del plano medio (ecuador) de la célula, y forman ángulo recto con las fibras del huso. Los centrómeros de un cromosoma se unen a las fibras del huso en uno solo de los polos mientras que los centrómeros del cromosoma homólogo se enlazan con el polo opuesto.

**Anafase I.** Los pares homólogos de cromosomas se separan. Un cromosoma de cada par se mueve hacia un polo de la célula y el otro cromosoma del par se mueve hacia el polo opuesto. Cada polo recibe una mezcla al azar de cromosomas paternos y maternos, pero solo un miembro de cada par está presente en cada polo. Cada cromosoma se compone todavía de dos cromátidas unidas por el centrómero. Las cromátidas no se separan en este momento, como ocurre en la mitosis. (Paniagua et al, 2011).

**Telofase I.** El citoplasma se divide formando dos células. Cada célula contiene un miembro de cada par de cromosomas homólogos y el número de cromosomas se ha reducido a la mitad (haploide). La membrana nuclear se forma alrededor de los cromosomas en cada nueva célula.

Después de la telofase I, se completa la primera división celular de la meiosis. Las dos células entran en una fase llamada **intercinesis**, similar a la interfase de la mitosis, pero con la diferencia de que carece del intervalo S, de modo que no hay duplicación de los cromosomas. La segunda división celular de la meiosis o meiosis II casi siempre ocurre rápidamente. (Branco y Pombo, 2007).

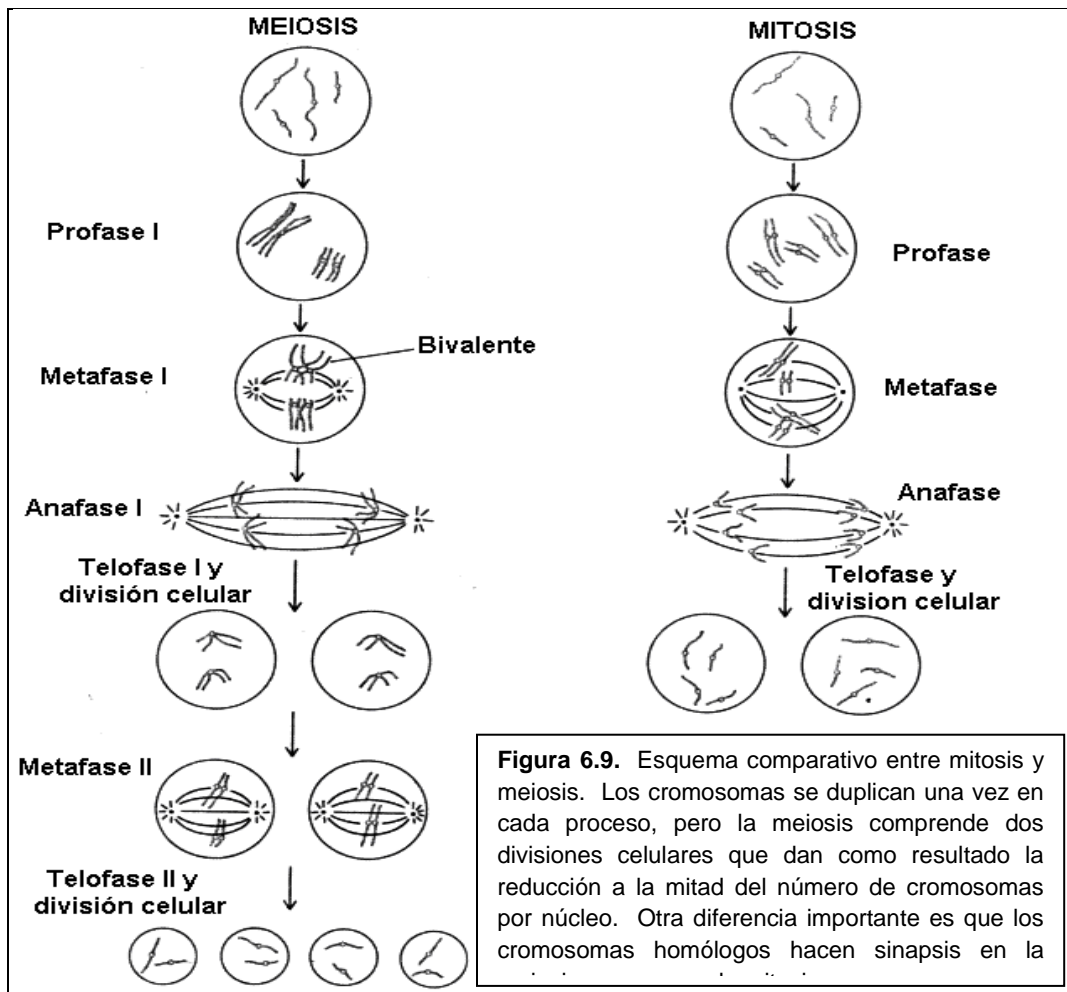
**Meiosis II.** Es similar a la mitosis en que las cromátidas se separan. Las fases que siguen se presentan en cada una de las dos células formadas en la primera división.

**Profase II.** Los cromosomas vuelven a condensarse por completo. En cada núcleo

existe un número haploide cromosómico y cada uno conserva todavía la forma de dos cromátidas unidas por el centrómero. Aquí las envolturas nucleares, si las hay, se desintegran y empieza a aparecer un huso nuevo.

**Metafase II.** Durante la **metafase II**, los pares de cromátidas de cada núcleo se alinean en el plano ecuatorial.

**Anafase II.** Al igual que en la anafase mitótica, las cromátidas hijas se separan y cada cromátida resultante se desplaza hacia uno de los polos.



**Telofase II.** Los husos desaparecen y se forma una envoltura nuclear en torno de cada conjunto de cromosomas. En este momento existen cuatro núcleos en total y cada uno contiene el número haploide de cromosomas. Se produce entonces la división del citoplasma (citocinesis) de la misma manera que después de la mitosis, y las células empiezan a diferenciarse luego en gametos. (Scholey et al,

2003).

## 6.5. FECUNDACION.

En la fecundación, el espermatozoide se une a un receptor en la superficie del óvulo y se fusiona con la membrana plasmática de éste, comenzando así el desarrollo de un nuevo organismo diploide que contiene información genética de ambos progenitores. La fecundación no sólo conduce a que se mezclen los cromosomas paternos y maternos, sino que también induce una serie de cambios en el citoplasma del óvulo que son críticos para el desarrollo posterior. Estos cambios activan al óvulo, lo que hace que se complete la meiosis del oocito y que comiencen los ciclos celulares mitóticos del embrión temprano.

Una señal fundamental, debida a la unión del espermatozoide a su receptor en la membrana plasmática del óvulo, es el aumento en el nivel de  $\text{Ca}^{2+}$  en el citoplasma del ovulo. Un efecto de este aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular es la inducción de alteraciones en la superficie que impiden la entrada de más espermatozoides en el óvulo. Ver Figura 6.10.

Esto es un proceso fundamental para asegurar que se forma un embrión diploide normal, puesto que el óvulo permanece expuesto a un elevado número de espermatozoides. Se piensa que estas alteraciones se deben, al menos en parte, a la exocitosis inducida por  $\text{Ca}^{2+}$  de vesículas secretoras que abundan debajo de la membrana plasmática del óvulo. La liberación de los contenidos de estas vesículas altera la cubierta extracelular del óvulo, de tal manera que se bloquea la entrada de otros espermatozoides. (Cooper y Hausman, 2011).

El aumento del  $\text{Ca}^{2+}$  citosólico tras la fecundación también es una señal para que se complete la meiosis del oocito, tras lo cual en los óvulos que permanecen detenidos en la metafase II, la transcripción de metafase a anafase se pone en marcha mediante la activación del complejo promotor de la anafase APC/C, resultando de la fosforilación degradación  $\text{Ca}^{2+}$ -dependiente del inhibidor del APC/C Emi2/Erp1 que se ocupa de mantener la detención de la metafase II.

La degradación resultante de ciclina B y condensina da lugar a la compleción de la segunda división meiótica, teniendo lugar a una citocinesis asimétrica (al igual que en la meiosis I) y produciendo un segundo cuerpo polar pequeño.

El óvulo fecundado (ahora denominado **cigoto**) contiene dos núcleos haploides (denominados **pronúcleos**), cada uno proveniente de un progenitor. En los mamíferos, los dos pronúcleos entran en fase S y replican se ADN a la vez que migran el uno hacia el otro. Cuando se encuentran, el cigoto entra en la fase M de su primera división mitótica

(Villanueva, 1990).

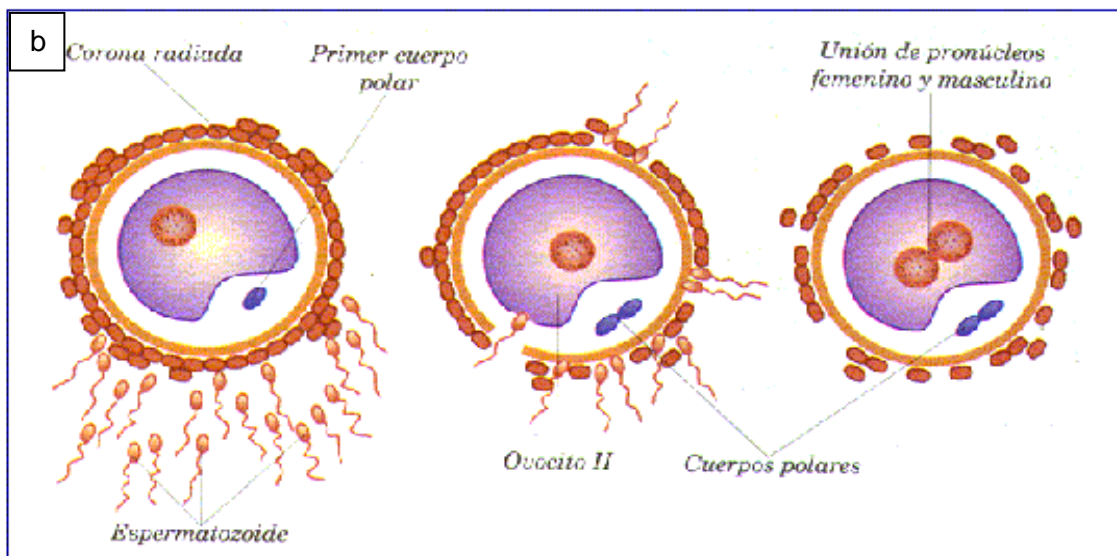
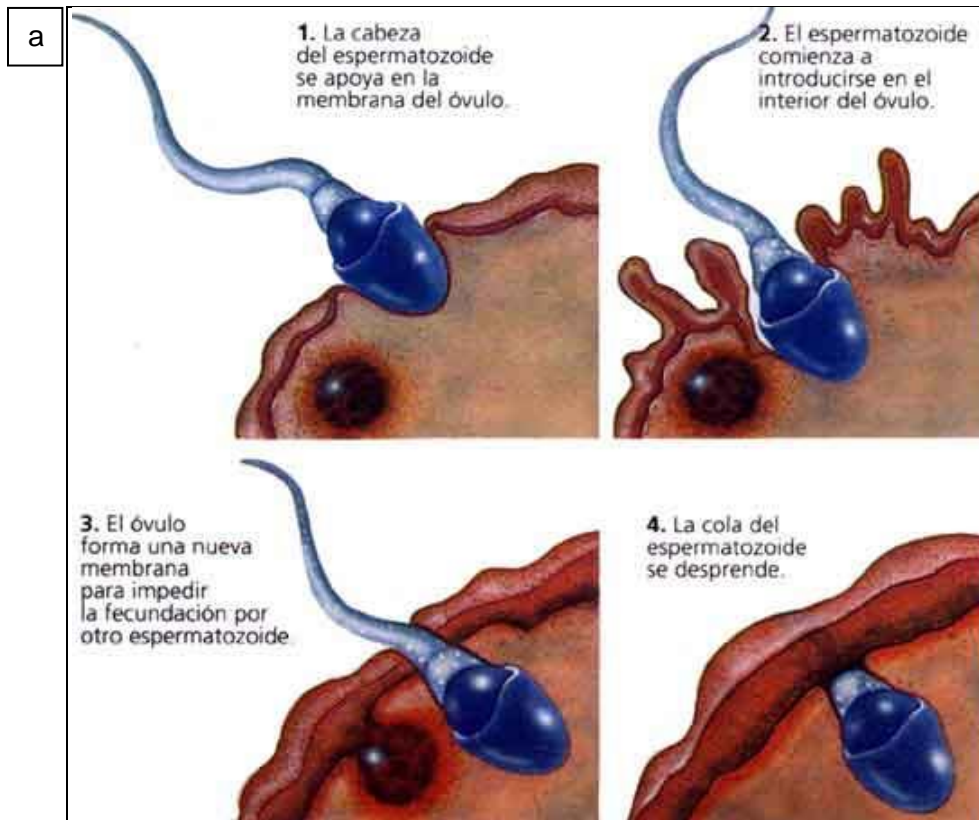
Las dos envolturas nucleares se rompen, y los cromosomas condensados de origen paterno y materno se alinean en un mismo huso. El resultado al finalizar la mitosis son dos células embrionarias, cada una con un genoma diploide nuevo. Entonces comienza la serie de divisiones celulares que, en último término, dará lugar al desarrollo de un nuevo organismo.

## **6.6. TOTIPOTENCIALIDAD CELULAR Y CÉLULAS MADRE.**

El hecho de que cada célula contenga la información genética para la manifestación de todas las características del individuo, explica la razón por la que una sola célula tomada de un organismo adulto que ha completado su desarrollo tenga la capacidad de desarrollarse y convertirse en un organismo completo, bajo ciertas condiciones de cultivo. Esto es lo que se denomina **totipotencialidad celular**. Mediante el cultivo de tejidos vegetales "*in vitro*" es posible obtener plántulas a partir de unas pocas células meristemáticas de una planta.

**Tabla 6.3.** Comparación entre mitosis y meiosis

<b>Características</b>	<b>Mitosis</b>	<b>Meiosis</b>
1. Época de iniciación en el organismo	Empieza en el período de cigoto y continúa a través de toda la vida del organismo.	Se presenta solamente después que un organismo superior ha empezado a madurar (en humanos en la pubertad).
2. Tipos de células que la realizan	Normalmente se presenta en la mayor parte de las células somáticas.	Se presenta sólo en las células especializadas de la línea germinal presente en las gónadas.
3. Número de divisiones por ciclo.	Una (1) división por ciclo, que generalmente comprende cariocinesis y citocinesis simultáneas.	Dos divisiones por ciclo, la meiosis I que comprende una división reduccional cromosómica y la meiosis II que involucra una división equitativa cromosómica.
4. Número de células por ciclo	Un ciclo da lugar a dos células hijas.	Cada ciclo da lugar a cuatro (4) células (gametos o esporas).
5. Contenido genético de las células producidas	Las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre y su contenido genético es idéntico a la célula progenitora.	El número de cromosomas de los productos meióticos es la mitad del de la célula madre y su contenido genético es diferente.
6. Continuidad del proceso.	Las células resultantes de la mitosis son capaces, en general, de experimentar divisiones mitóticas adicionales.	Las células provenientes de la meiosis (gametos) no pueden experimentar otra división meiótica, pero sí divisiones mitóticas.
7. Comportamiento de los cromosomas.	Cada cromosoma se duplica pero sin aparearse con su homólogo. No hay intercambio de material genético.	Los cromosomas homólogos se aparean, entran en sinapsis y forman quiasmas. Hay intercambio de material genético.



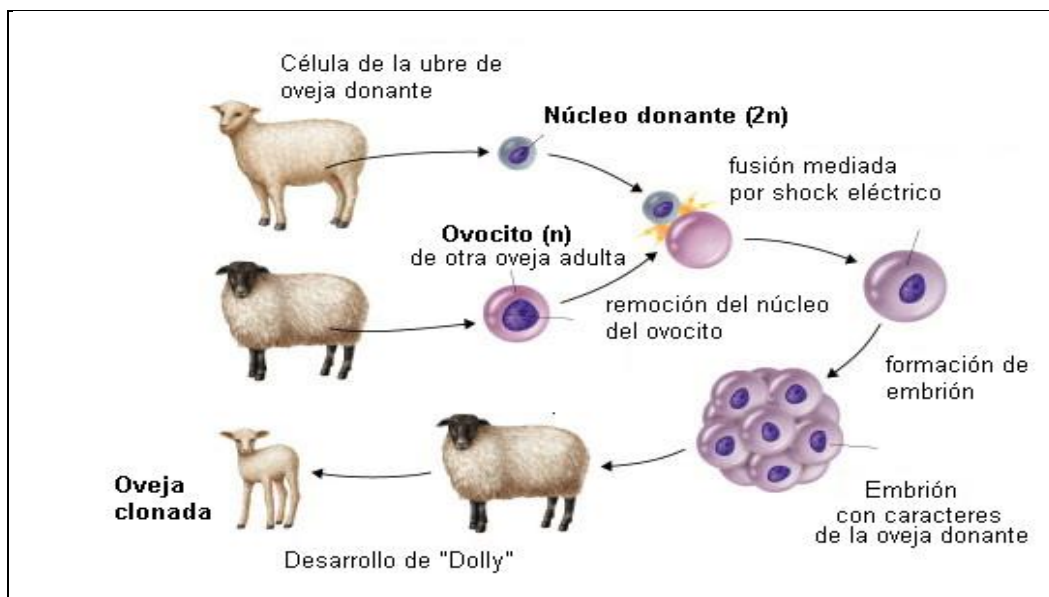
**Figura 6.10:** Proceso de fecundación en humanos. Arriba: Penetración del espermatozoide en el óvulo. Abajo: Desarrollo del óvulo fecundado.



En febrero de 1.997, la primera página de los periódicos más influyentes del mundo mostraba la fotografía de una oveja de apariencia bonachona, llamada Dolly, que había sido generada implantando el núcleo de una célula de la ubre de una oveja adulta de la raza finlandesa Dorset en el óvulo enucleado de una oveja de la raza escocesa Blackface. Era el primer ejemplar **clonado** de un animal. (Nombela, 2007).

Este procedimiento, en apariencia tan simple, sólo tuvo éxito al someter las células donadoras a condiciones de ayuno provocando así la interrupción de la división celular mitótica, truco que parecía hacer compatible a los núcleos donadores con el óvulo receptor, en fase tardía de la meiosis. Este sorprendente resultado experimental demostró que el núcleo de un mamífero adulto todavía es totipotente.

¿Una técnica similar a la que generó Dolly podría servir también para inducir seres humanos genéticamente idénticos? La respuesta a esta pregunta dio origen a un candente debate sobre la ética de tal procedimiento y su posible mal uso. Sin embargo en la actualidad esta discusión es solamente académica por cuanto la eficiencia del proceso de clonación de mamíferos es muy baja (de hecho se produjeron muchos embriones defectuosos antes de Dolly) (Weissman y Gage, 2001).

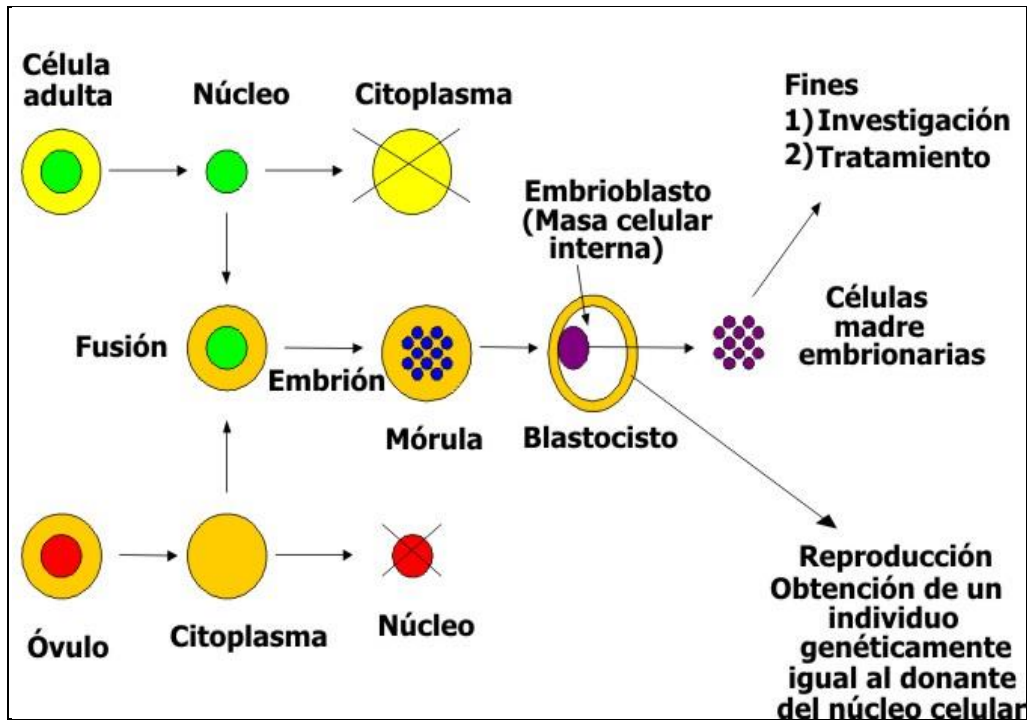


**Figura 6.11:** Representación de la clonación de la oveja Dolly.

**Células madre.** En los últimos años el término “célula madre” ha tomado gran importancia desde que la terapia génica y la clonación son temas de discusión en la bibliografía biológica. En general, una célula madre se define como una célula que tiene la capacidad de dividirse (autorreplicarse) por periodos indefinidos durante toda la vida de un individuo y que bajo las condiciones apropiadas o señales correctas del microambiente puede dar origen (diferenciarse) en varios linajes con características y funciones especializadas tales como miocitos, neuronas o hepatocitos (Rodríguez Pardo, 2006). Es común que en la bibliografía especializada a las células madre se les denomine *stem cells*, en inglés, o “células troncales”.

La célula madre por excelencia es el **cigoto**, formado cuando un óvulo es fecundado por un espermatozoide. El cigoto es totipotente, es decir, puede dar origen a todas las células del feto y a la parte embrionaria de la placenta.

Conforme el embrión se va desarrollando, sus células van perdiendo esta propiedad (totipotencia) de forma progresiva, llegando a la fase de blástula o blastocito que contiene células pluripotentes (células madres embrionarias) capaces de diferenciarse en cualquier célula del organismo salvo las de la parte embrionaria de la placenta. Conforme avanza el desarrollo embrionario se forman diferentes poblaciones de células madre con una potencialidad de regenerar diferentes tejidos del organismo.



**Figura 6.12:** Mecanismo de acción de las células madre.

Para distinguir los variados tipos de células madre es preciso conocer su comportamiento tanto en condiciones “in vivo” como en condiciones “in vitro”. De acuerdo al tipo de tejido que originan, las células madre pueden ser: totipotentes, pluripotentes, multipotentes y unipotentes (Donovan, 2001).

- La **células madres totipotentes** pueden crecer y formar un organismo completo, tanto los componentes embrionarios (como por ejemplo, las tres capas embrionarias, el linaje germinal y los tejidos que darán lugar al saco vitelino), como los extraembrionarios (como la placenta). Es decir, pueden formar todos los tipos celulares.
- Las **células madre pluripotentes** no pueden formar un organismo completo, pero si cualquier otro tipo de célula correspondiente a las tres capas embrionarias (endodermo, ectodermo y mesodermo), así como el germinal y el saco vitelino. Pueden, por tanto, formar linajes celulares.
- Las **células madre multipotentes** son aquellas que solo pueden generar células de su misma capa embrionaria (por ejemplo: células madre que dan origen a tejidos derivados exclusivamente del endodermo como tejido pancreático o pulmonar).
- Las **células madres unipotentes** pueden formar únicamente células hijas que se diferencian a lo largo de una sola línea celular (Nombela, 2007).

Si las células madre se clasifican de acuerdo al tejido de donde se originan, éstas pueden ser:

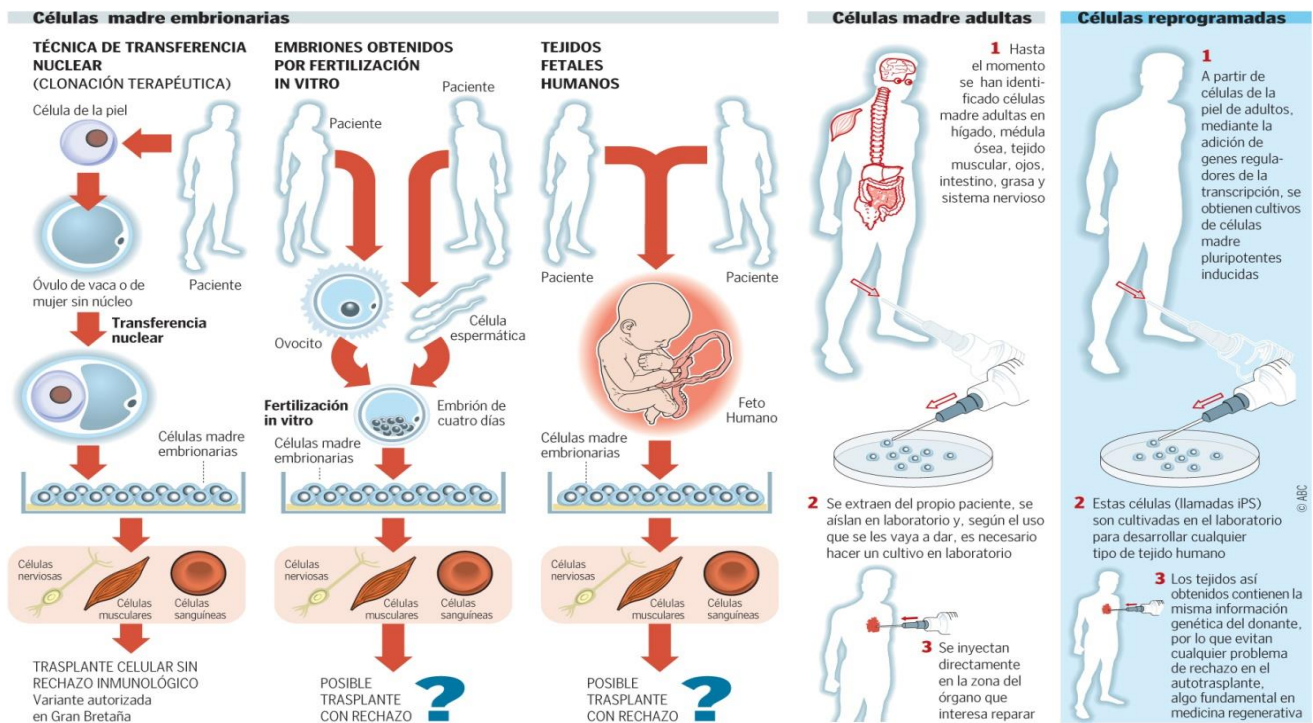
- **Células madre embrionarias**, si proceden del embrión ó
- **Células madre adultas** si se originan de un organismo totalmente desarrollado.

Las células madre embrionarias pueden ser obtenidas a partir de la masa celular interna de un embrión de 4-5 días de edad, o blastocito. Estas células son entonces precursores totipotenciales con capacidad de proliferar indefinidamente *in vitro*.

Sin embargo, esta idea ha sido revaluada por varios grupos de investigadores cuyos estudios sugieren que las células madre adultas son capaces de diferenciarse funcionalmente a células especializadas procedentes de capas embrionarias distintas a las de su origen; incluso, algunos de estos grupos han sido capaces de probar la pluripotencialidad de células madre adultas procedentes de la médula ósea o de sistema nervioso central (Donovan, 2001).

Esta “habilidad biológica”, propia de estas células adultas, se fundamenta en la capacidad que tienen de alterar drásticamente su fenotipo en respuesta a los cambios del microambiente donde se desarrollan, y se le conoce en la actualidad como “fenómeno de plasticidad” (Wagers y Weissman, 2004). Las células madre adultas más estudiadas, hasta ahora, son las que se derivan de la médula ósea; allí se encuentra un grupo muy especial: células madre hematopoyéticas,

## DIFERENTES FORMAS DE OBTENER CÉLULAS MADRE



**Figura 6.13:** Representación gráfica de las diversas formas de obtener células madre.

Además de las células madre embrionarias, se han identificado células madres adultas que se pueden encontrar en la mayoría de los tejidos de un individuo totalmente desarrollado tales como la médula ósea, el sistema neuronal, el sistema gastrointestinal, el músculo esquelético, el músculo cardíaco, el hígado, el páncreas y el pulmón. En un principio se pensó que las células madre adultas estaban predeterminadas a diferenciarse en un tipo celular procedente de su mismo tejido de origen o al menos de su misma capa embrionaria.

responsables de la renovación constante de las células sanguíneas, es decir, de la producción de billones de nuevas células cada día.

Las **células madre hematopoyéticas** aparecen en el embrión entre la tercera y la cuarta semana de gestación. Estas células migran desde el saco vitelino hasta el hígado y el bazo y por último llegan a la médula ósea a través de la circulación fetal durante el segundo y tercer trimestre de gestación. Estas células han sido aisladas de sangre periférica y de médula ósea; tienen la capacidad de autorrenovarse y diferenciarse en dos grupos de progenitores hematopoyéticos: progenitor mieloide y progenitor linfóide, los cuales a su vez se diferencian hacia linajes de células sanguíneas especializadas (Weissman y Gage, 2001).

Las células madre hematopoyéticas son la base biológica de los trasplante de médula ósea para pacientes que padecen de patologías como leucemias y aplasia medulares; sin embargo, la obtención de donantes compatibles con el receptor y los costos que implican estos procedimientos han creado la necesidad de buscar fuentes alternas para la obtención de este tipo de células. Una alternativa interesante para la obtención de células madre hematopoyéticas constituye la sangre del cordón umbilical (SCU).

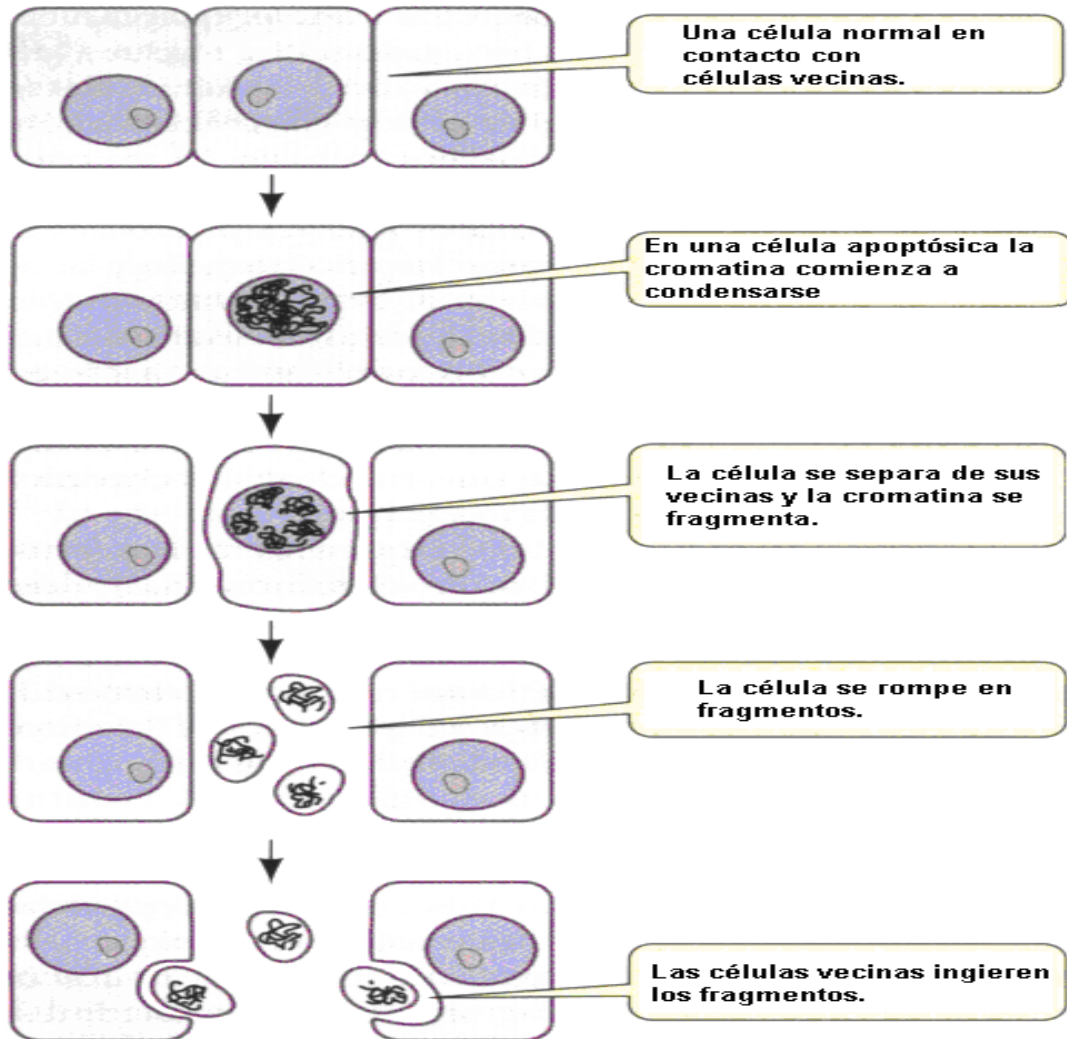
Las principales ventajas del uso de SCU como una fuente alternativa de células madre hematopoyéticas son: fácil obtención de la muestra, viable aprobación de donantes voluntarios, ausencia de riesgo para los donantes, menor riesgo de enfermedad aguda del injerto contra el huésped y bajos costos. Estas ventajas se reconocieron inicialmente en trasplante de SCU realizados con donantes emparentados; posteriormente, se establecieron bancos de SCU, los cuales estandarizaron el método de recolección de la muestra, su almacenamiento, procesamiento y criopreservación para realizar trasplantes de células madre hematopoyéticas de SCU en donantes no emparentados y así apoyar el tratamiento de enfermedades hematológicas malignas y no malignas (Rodríguez Pardo, 2005).

Las células madre constituyen entonces una interesante alternativa de investigación, principalmente por el potencial terapéutico que es descifrado cada vez más por los investigadores. Sin embargo, cuando se discute sobre temas como la clonación y ahora sobre células madre, es importante considerar las implicaciones éticas que conlleva su manipulación y no desconocer que en el campo de la biología de las células madre queda aún mucho más por hacer. (Wagers y Weissman, 2004).

## **6.7. APOPTOSIS.**

Cuando un organismo está en periodo de formación, la muerte de las células, denominada **apoptosis**, desempeña una función tan destacada como la división celular. La mayoría de las células ensamblan proteínas que forman parte de una maquinaria autodestructiva, la cual está compuesta por enzimas capaces de degradar proteínas (proteasas) y su activación produce cambios celulares característicos. Las células que entran en apoptosis se encogen y se separan de sus vecinas; luego las membranas se arrugan y forman burbujas en sus superficies. La cromatina se condensa y los cromosomas se fragmentan. Por último, las células se dividen en numerosas vesículas, los **cuerpos apoptóticos**, que serán engullidos por las células vecinas. (Solomon et al, 2011).

Las enzimas que intervienen en la apoptosis normalmente permanecen inactivas en las células, respondiendo a mecanismos estrictos de control, los cuales son responsables de activar la maquinaria letal en momentos particulares del ciclo celular de acuerdo a señales externas o internas.



(a)



(b)

**Figura 6.14:** Apoptosis. Muerte programada de la célula. Numerosas células están genéticamente programadas para autodestruirse cuando no puede crecer más o cuando han vivido lo suficiente para acumular una carga de ADN anormal que pueda perjudicar al organismo. Tomado de Purves, 2001.

Cuando los mecanismos de control se alteran en el organismo, se presentan estados patológicos producidos tanto por la pérdida de células normales como por la supervivencia de células que deberían entrar en apoptosis. Ver Figura 6.14.

En los vertebrados, por apoptosis se regula el número de neuronas durante el desarrollo del sistema nervioso, se eliminan linfocitos no funcionales y se moldean las formas de un órgano en desarrollo, eliminando células específicas. Por ejemplo, durante la metamorfosis de los renacuajos, se eliminan las células de la cola mediante apoptosis. En los embriones humanos, las células que forman las membranas interdigitales se eliminan por apoptosis durante el desarrollo.

Es preciso distinguir entre apoptosis y necrosis. Cuando una célula muere por daño o envenenamiento generalmente se hincha y revienta, vertiendo su contenido en el entorno, proceso denominado **necrosis**. Como consecuencia, se produce una inflamación que atrae leucocitos y puede lesionar el tejido normal que lo rodea. La apoptosis, en cambio, es un tipo de muerte activa, programada genéticamente, que requiere gasto de energía por parte de la célula y constituye un proceso que no causa inflamación de los tejidos (Purves et al, 2001). Ver Tabla 9.2.

## **6.8. CICLO DE VIDA**

Un ciclo de vida o ciclo vital es la secuencia que un individuo sexualmente reproductivo sigue para lograr la transición de una generación a la siguiente. Los ciclos de vida de casi todos los organismos eucariotas tienen un mismo patrón, en el que se distinguen los siguientes aspectos:

**Primero.** Dos células haploides ( $n$ ) se fusionan durante el proceso de fecundación, uniendo cromosomas paternos y maternos para producir una célula diploide ( $2n$ ) con nuevas combinaciones genéticas. Ver Figura 6.15.

**Segundo.** En un momento dado del ciclo vital ocurre la meiosis y se vuelven a formar las



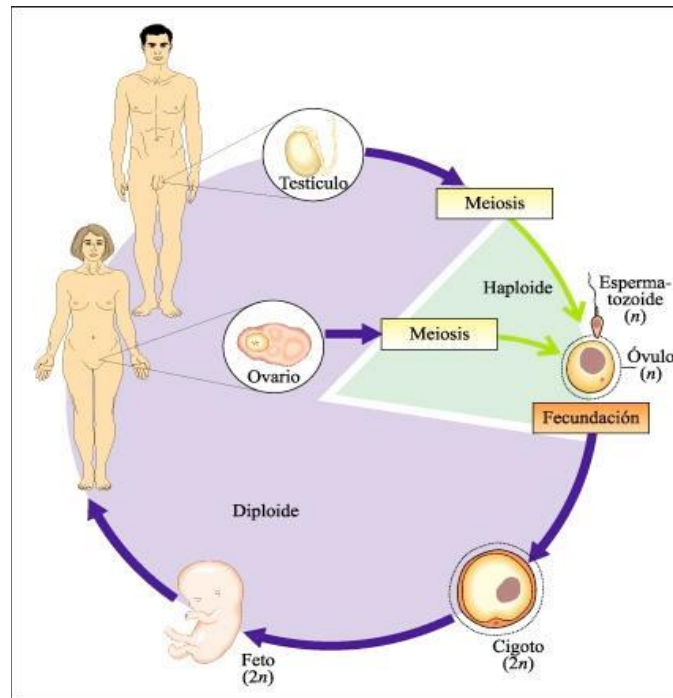
células haploides (Bloom y Cross, 2007).

**Tercero.** En otra etapa del ciclo de vida, la mitosis, bien sea de células haploides o de células diploides o de ambas, determina el crecimiento de cuerpos multicelulares y/o la reproducción asexual. Estos aspectos de los ciclos vitales están interrelacionados y se pueden clasificar en tres categorías de acuerdo con la duración relativa de los estados haploide y diploide, a saber:

- **Ciclo de vida haploide**, característica de protistas, algas unicelulares, hongos.
- **Ciclo de vida diploide**, predominante en humanos.
- **Alternancia de generaciones**, típico de las plantas.

	<b>Necrosis</b>	<b>Apoptosis</b>
Estímulos	Escasez de oxígeno, toxinas, reducción de ATP, lesiones.	Específicos, señales fisiológicas programadas genéticamente
Suministro de ATP	No	Si
Comportamiento de la célula	Hinchazón, destrucción de los organelos, muerte del tejido.	Condensación de la cromatina, muerte de las células individuales.
Membrana plasmática	Se revienta	Se arruga.
Rompimiento del ADN	En fragmentos al azar	En fragmentos del tamaño de los nucleosomas
Destino de las células muertas	Ingeridas por los fagocitos	Ingeridas por las células adyacentes.
Reacción del tejido	Inflamación	Sin inflamación

**Tabla 9.2:** Comparación entre dos formas de muerte celular.



**Figura 6.15.** Ciclo de vida de la especie humana. Tomado de Curtis y Barnes, 2000.

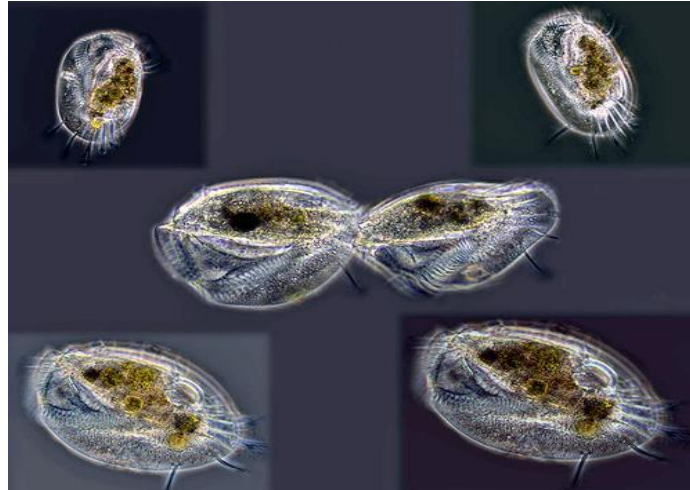
**Ciclo de vida diploide.** Casi todo el ciclo de vida de los humanos transcurre en estado diploide. Los gametos haploides, espermatozoides en los hombres y óvulos en las mujeres, se forman mediante meiosis y luego se fusionan para formar un óvulo fecundado: el cigoto. El desarrollo y crecimiento del cigoto en un organismo adulto es el resultado de la mitosis en las células diploides (Villanueva, 1990).

## 6.9 REPRODUCCION ASEXUAL

La reproducción asexual consiste en la producción de descendencia sin intervención de dos gametos, es decir, en la reproducción asexual interviene un solo progenitor y por consiguiente, la descendencia producida es genéticamente idéntica al progenitor. La reproducción asexual es común en microorganismos, plantas y animales de organización simple. También se presenta en variadas especies de plantas superiores. En la reproducción asexual, intervienen por lo general células somáticas que son diploides o haploides, dependiendo de la especie. Sin embargo, en ciertas especies (abejas) interviene células sexuales especialmente gametos femeninos. Las formas comunes de reproducción asexual son las siguientes: fisión, gemación, esporulación, fragmentación o regeneración y reproducción vegetativa (De Robertis y De Robertis, 2007).

### 6.9.1. Fisión.

Es la forma más generalizada de reproducción asexual en los organismos unicelulares. El organismo se divide en dos partes aproximadamente iguales, cada una de las cuales crece hasta alcanzar el tamaño completo y el proceso puede renovarse. Bajo condiciones ideales, las bacterias pueden reproducirse por fisión cada veinte o treinta minutos (Ver figura 6.16). Numerosos protozoos, entre ellos la ameba, se reproducen igualmente por fisión. Algunos animales se reproducen por fisión. Unos cuantos **corales** se pueden dividir longitudinalmente para producir dos individuos más pequeños pero completos.



**Figura 6.16** Reproducción asexual: Fisión binaria en bacterias.

### 6.9.2. Gemación

Este tipo de reproducción asexual es común en las levaduras y en animales multicelulares simples como muchas esponjas y cnidarios tales como la hidra y algunas anémonas. En la gemación, el individuo progenitor experimenta una cariocinesis acompañada por una citocinesis muy desigual, de manera que la célula hija (denominada **yema**) es de menor tamaño que la célula progenitora. Las yemas crecen por división mitótica de sus células y se diferencian antes que la yema se separe de su progenitora. La yema es genéticamente idéntica a la progenitora y puede crecer tan grande como ella antes de llegar de ser independiente. Ver figura 6.17.



**Figura 6.17.** Reproducción asexual: Gemación en levaduras.

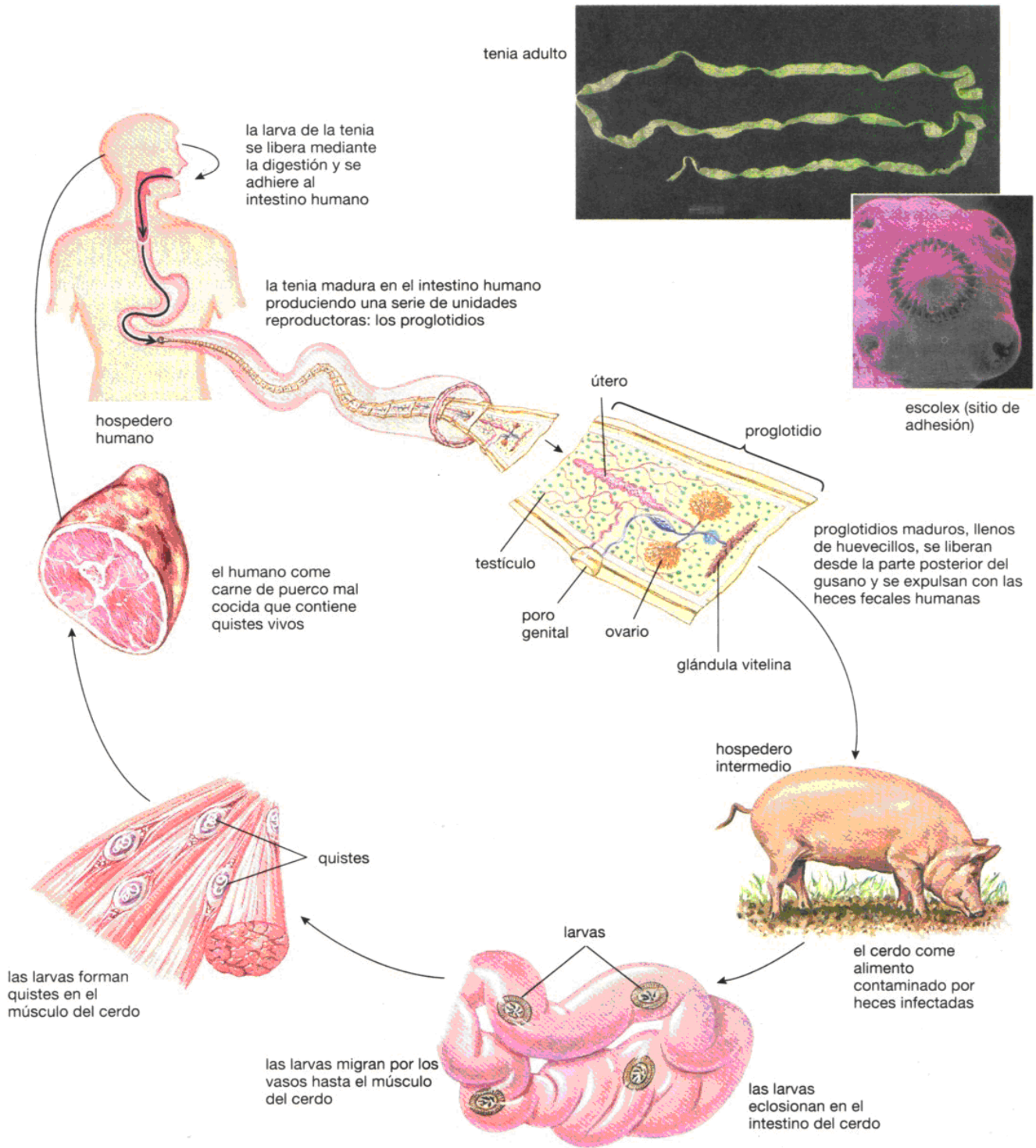
La gemación se presenta también en la “lombriz solitaria” o *Taenia solium*. La carne de cerdo deficientemente cocida puede contener cisticercos de la Tenia.

Los cisticercos poseen una cápsula que contiene el escólex. Cuando una persona consume carne de cerdo “con pipitas” (que contiene cisticercos) el jugo gástrico disuelve la pared de la cápsula, el escólex da la vuelta hacia afuera y se adhiere mediante ventosas y ganchos a la pared del intestino. Enseguida produce yemas en su extremo posterior que reciben el nombre de **proglotis**. Estas permanecen unidas unas con otras formando una cadena que puede medir hasta seis metros y contener más de 1000 proglotis.

Aunque sólo existen nervios rudimentarios, órganos excretorios y estructuras musculares compartidas por los proglotis, éstos se consideran como un individuo separado (Curtis y Barnes, 2000).

### 6.9.3. Esporulación

En hongos, helechos, algas y otras plantas inferiores, la reproducción asexual se efectúa por esporas. Una espora es una célula reproductiva diminuta que se desarrolla en un nuevo organismo sin necesidad de fusionarse con otra célula reproductiva. Las esporas se mantienen temporalmente unidas dentro de una membrana común, tras haberse formado generalmente por medio de tres



**Figura 6.18.** Gemación en la *Teniae*. El escólex de la lombriz se adhiere mediante ventosas y ganchos a la pared del intestino y produce yemas en su extremo posterior que reciben el nombre de proglotis.



divisiones sucesivas (2:4:8). Al romperse la membrana quedan en libertad y, si las condiciones ambientales son favorables, se reanuda el crecimiento. En muchas especies, la cubierta de la espora permite que el organismo se mantenga protegido en estado de vida latente cuando las condiciones ambientales son en extremo desfavorables (Starr y Taggart, 2004).

Las esporas de los organismos terrestres son, por lo general, muy livianas y poseen una pared protectora, lo cual les permite desplazarse a grandes distancias por medio del viento. Ver figura 6.19.



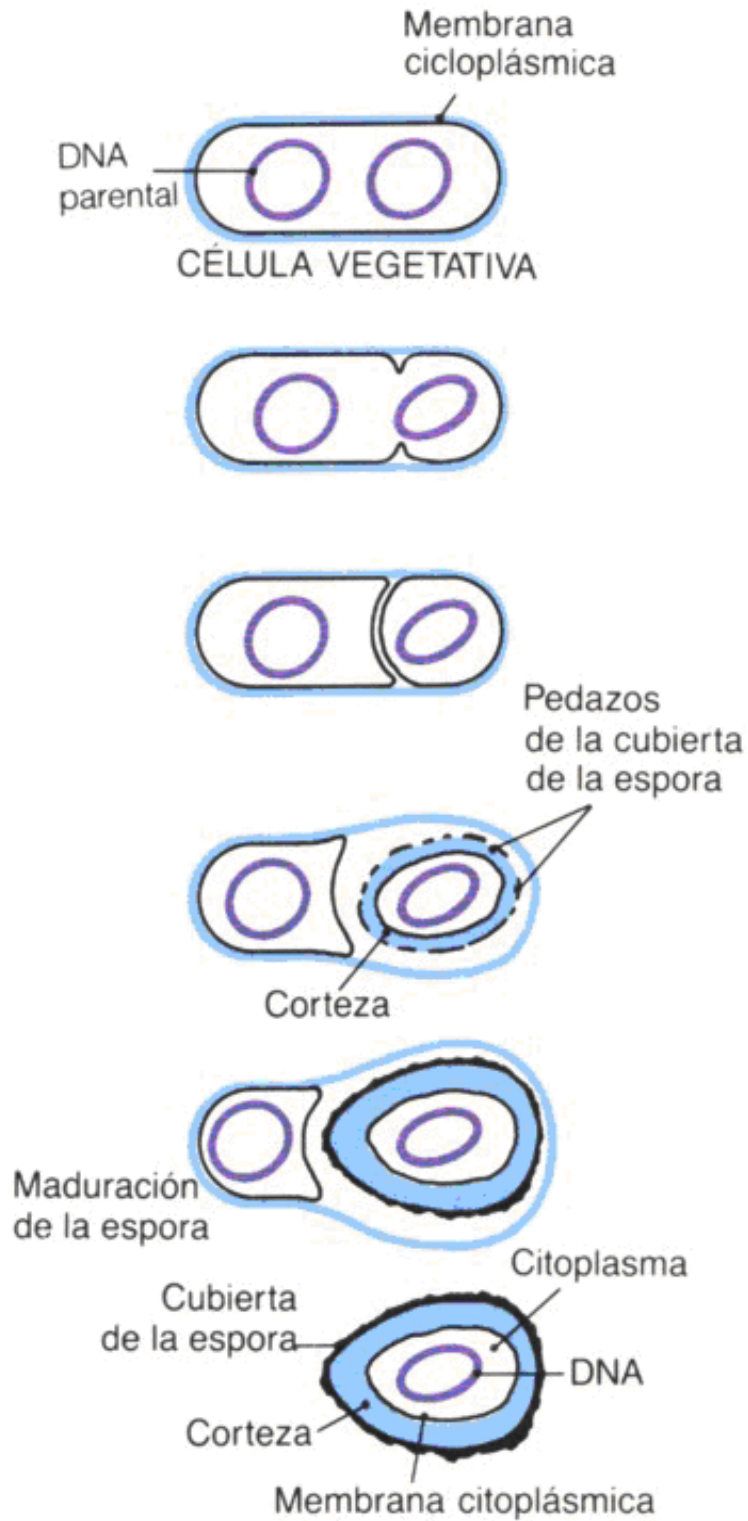
**Figura 6.19.** Reproducción asexual: Esporas en el envés de la hoja del helecho.

#### **6.9.4. Fragmentación o Regeneración**

En algunas especies animales y vegetales la regeneración de los fragmentos corporales es una forma potencial de reproducción. Si la estrella de mar se fragmenta en porciones que contengan la región central del cuerpo cada porción puede crecer y formar la estrella

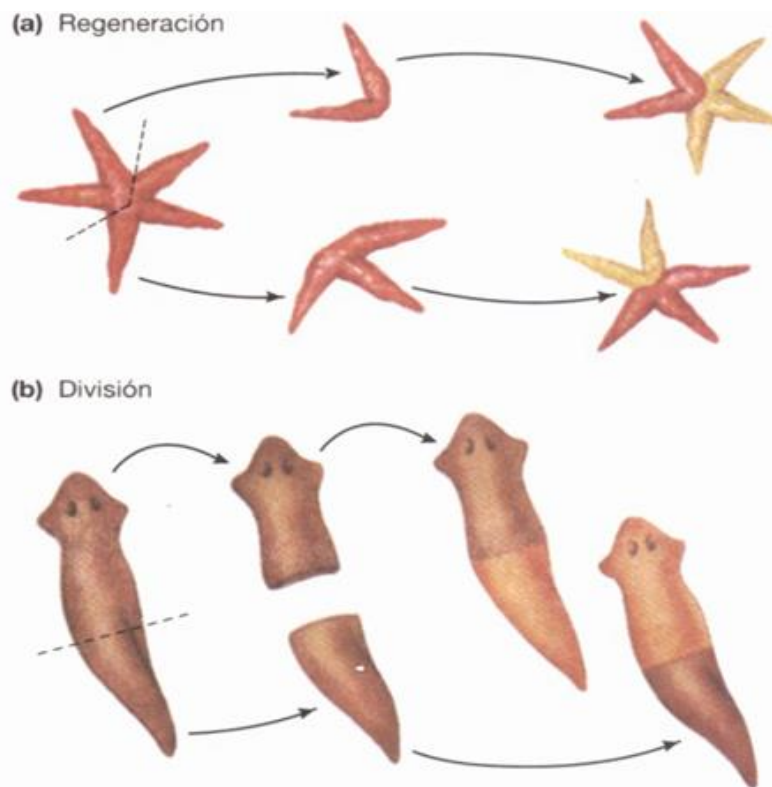
completa. Ver figura 6.21.

Unas cuantas estrellas de mar quebradizas se dividen y cada mitad regenera un animal completo. No obstante esta modalidad de reproducción asexual, las estrellas de mar en general se reproducen sexualmente mediante la expulsión de enormes cantidades de espermatozoides y óvulos en el mar (Audersik y Audersik, 1996).



**Figura 6.20.** La formación de una endospora. Tomado de Alexander, 1992.





**Figura 6.21.** Reproducción asexual por fragmentación. a) Regeneración por fragmentación. Numerosas estrellas de mar pueden regenerar nuevos individuos a partir de fragmentos si éstos incluyen la parte central del cuerpo. b) Algunos gusanos planos se dividen por la parte media. En principio, a cada descendiente le falta la mitad del cuerpo adulto, pero éste vuelve a crecer a partir de células cercanas al borde del roto. Tomado de Audersik, 1996.

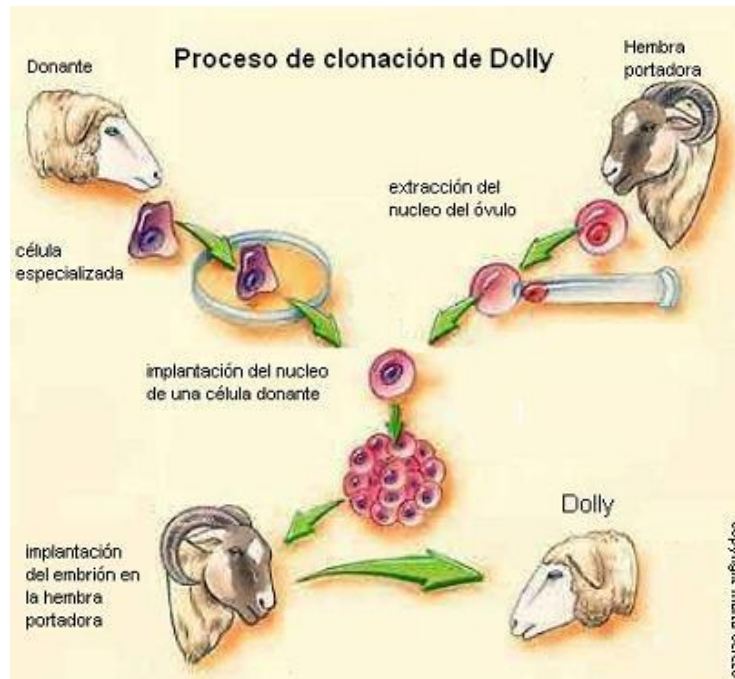
### 6.9.5. Clonación

La clonación es un método para producir copias idénticas de un individuo. Dado que cualquier célula somática de un organismo contiene los mismos genes, cada una de esas células tiene el mismo potencial genético.

La clonación de animales superiores ha tenido un impulso extraordinario con la clonación

de la oveja “Dolly”, realizada en 1997.

La posibilidad de clonar seres humanos plantea perspectivas excitantes. No obstante, hay una gran distancia entre la clonación de ovejas y la clonación humana. No solo intervienen consideraciones biológicas como los anticuerpos, sino que deben enfrentarse problemas legales, morales, éticos y sociales (Solomon *et al*, 1996).



**Figura 6.22.** Esquema del proceso mediante el cual se realizó la clonación de la oveja Dolly.

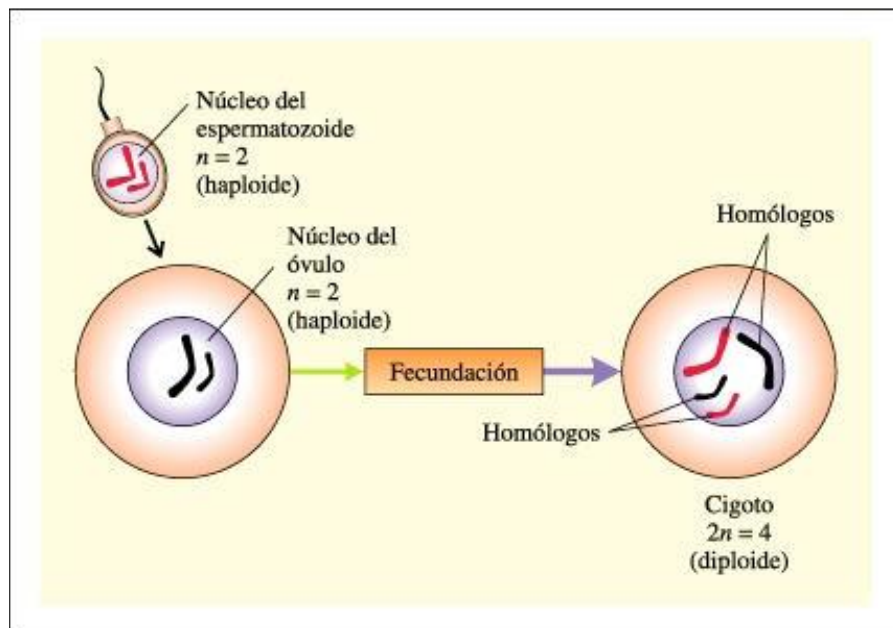
## 6.10. REPRODUCCIÓN SEXUAL

La mayoría de los seres vivos, desde los más simples hasta los más complejos, se reproducen sexualmente. La ventaja biológica de este tipo de reproducción consiste en la posibilidad de recombinar en un mismo individuo los rasgos procedentes de sus dos progenitores. De este modo, el hijo puede presentar unos caracteres que no se encuentran en los padres, existiendo así la posibilidad de que el descendiente mejore sus condiciones de supervivencia en el entorno.

Relacionados directamente con la reproducción sexual se encuentran los procesos de meiosis y fecundación. En el primero se forman los gametos que, mediante la recombinación que se realiza en la primera profase meiótica, constituyen una mezcla de material genético procedente de los dos progenitores. La fecundación o fusión de los

gametos permite combinar los contenidos hereditarios de los dos progenitores en sus respectivos cromosomas. El cigoto resultante puede ser evolutivamente favorable o desfavorable, pero con rasgos distintos con respecto a los progenitores. Las combinaciones desfavorables quedan en desventaja para sobrevivir y son eliminadas por selección natural (Nason, 2010).

En la reproducción sexual los nuevos individuos se forman a partir de células sexuales o gametos, producidos por los progenitores. En los gametos se encuentra la información hereditaria o ADN.



**Figura 6.23.** Diagrama que representa la reproducción sexual en humanos.

En todos los animales, los gametos masculinos son estructuralmente diferentes de los gametos femeninos, condición conocida como **heterogamia**.

Para ser más eficientes, los gametos deben ser móviles (así pueden hacer contacto y unirse) y deben estar dotados, además, de reservas nutritivas que suministren energía y materiales para el embrión en desarrollo. Estos dos requerimientos presentan de alguna manera, incompatibilidad, condición que se resuelve así: el gameto masculino, el espermatozoide, es móvil y de pequeño tamaño; el gameto femenino, el óvulo, contiene

reservas alimentarias y es de mayor tamaño (Karp, 2011).

**Gametogénesis en humanos.** Se denomina gametogénesis el conjunto de procesos mediante los cuales se forman los gametos o células sexuales (espermatozoides en el macho y óvulos en la hembra) en sus respectivas gónadas. La gametogénesis masculina en animales, denominada **espermatoogénesis** da por resultado la formación de cuatro **espermatozoides** haploides por cada célula que entra en la meiosis. En cambio, la gametogénesis femenina, llamada **oogénesis**, genera un sólo **óvulo** o huevo, por cada célula que experimenta meiosis.

En el embrión en desarrollo, se diferencian las células germinales o primitivas o primordiales, en ambos sexos, que se originan en las células de la pared del saco vitelino al final de tercera semana del periodo embrionario. Estas células migran al ovario (o al testículo en el hombre) alrededor de la quinta semana y allí se convierte en oogonios en la mujer o en espermatogonios en el hombre.

A continuación se describe el proceso de formación de gametos en la especie humana (Mader, 2007).

**Espermatoogénesis.** En el hombre la producción de espermatozoides se realiza dentro de los **túbulos seminíferos** presentes en los **testículos** o **gónadas masculinas**. Durante el período embrionario, las células germinales primitivas o primordiales comienzan a diferenciarse alrededor de la tercera o cuarta semana de gestación. Luego estas células primordiales experimentan una serie de transformaciones hasta llegar a la pubertad cuando se completa el desarrollo de la línea germinal masculina, a saber: espermatogonio, espermatocito primario, espermatocito secundario, espermátida y espermatozoide.

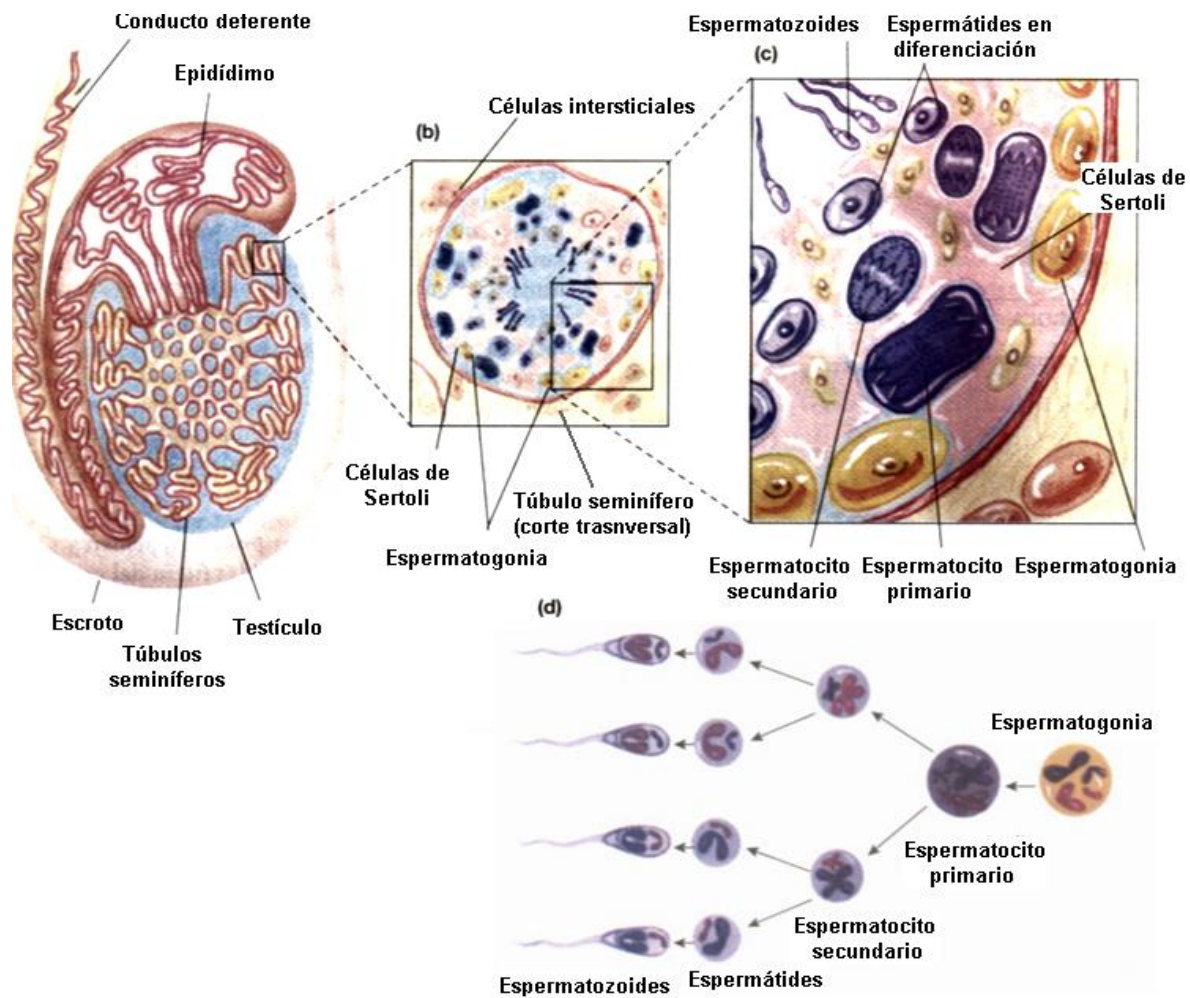
Los túbulos seminíferos contienen dos tipos de células **a)** Espermatogénicas también denominadas espermatogonios que producen espermatozoides y **b)** células de Sertoli que nutren y proporcionan soporte a las anteriores. Ver figura 6.24.

La producción de espermatozoides comienza en la pubertad del varón y continúa en forma ininterrumpida, a menos que se presente una lesión o una enfermedad que ocasione la **azoospermia**. En un solo tubo seminífero es posible hallar células en todos los estados diferentes de la espermatogénesis; sin embargo, no es frecuente encontrar

todos los estados en un solo corte transversal, porque la espermatogénesis se presenta en oleadas que descienden por los túbulos. Las células espermatogénicas o espermatogonios tapizan la membrana basal de cada tubo seminífero.

Durante el desarrollo embrionario y la niñez, los espermatogonios ( $2n$ ) se dividen por mitosis para producir más espermatogonios. En la adolescencia parte de los espermatogonios continúan dividiéndose por mitosis pero aproximadamente la mitad de ellos aumentan de tamaño y se transforman en espermatocitos primarios ( $2n$ ), los cuales experimentan división meiótica.

Cada espermatocito primario presenta una primera división meiótica en la cual hay reducción del número cromosómico a la mitad y da origen a dos espermatocitos secundarios ( $n$ ). En la segunda división meiótica, cada espermatocito secundario produce dos espermátides ( $n$ ). De esta forma, se obtienen cuatro espermátides ( $n$ ) del espermatocito primario original ( $2n$ ), los cuales se diferencian luego en espermatozoides, proceso denominado **espermiogénesis**, y pierden la mayor parte del citoplasma en el proceso (Paniagua et al, 2011).



**Figura 6.24.** Espermatogénesis en el hombre. a) Corte longitudinal del testículo. b) Corte transversal de un túbulo seminífero. c) Diferenciación de los tipos de células sexuales. d) Espermatozoides en fase final. Tomado de Starr y Taggart, 2004.

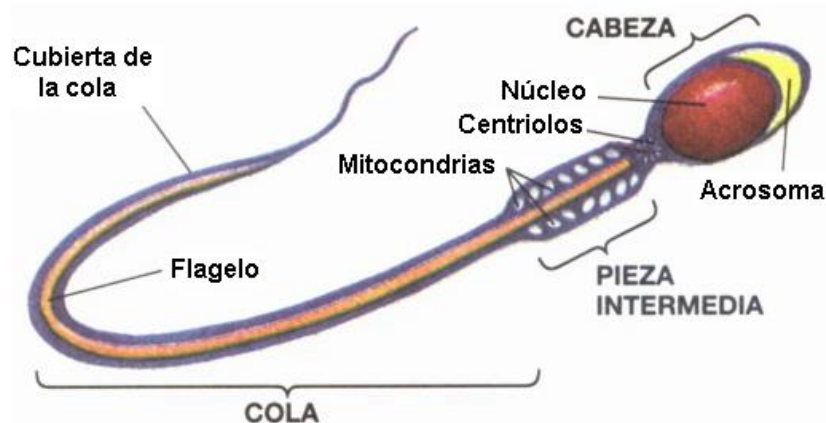
En muchas especies animales (perros, gatos) la producción de gametos coincide con la época de apareamiento (época de celo), pero el ser humano no tiene época reproductiva específica.

En un varón adulto, los testículos producen espermatozoides de forma continua, aproximadamente 3500 espermatozoides maduran cada segundo. El proceso de diferenciación de un espermatogonio en cuatro espermatozoides dura unos 74 días. Durante este tiempo, las células en desarrollo se nutren de las células de Sertoli adyacentes.

Cerca de 300 millones de espermatozoides maduran cada día. Los espermatozoides maduros se almacenan en el epidídimo y aquellos que no son expulsados por eyaculación permanecen almacenados por varias semanas y finalmente se degradan y sus materiales se reciclan. Los espermatozoides eyaculados en la vagina de la mujer viven aproximadamente tres (3) días.

Un espermatozoide maduro está conformado por una cabeza, una sección media (cuello) y una cola (flagelo). Ver figura 6.25. La cabeza contiene el núcleo (n) y, en su extremo frontal, un **acrosoma**, formado a partir del complejo de Golgi. El acrosoma produce enzimas que facilitan la penetración del óvulo. La sección media o cuello del espermatozoide contiene numerosas mitocondrias que suministran la energía para su desplazamiento. La cola es un flagelo típico de las células eucariotas, con la disposición usual 9 + 2 de los microtúbulos. Los ondulantes latigazos de la cola impulsan al espermatozoide a través de los fluidos corporales o el agua.

En el hombre se conocen alteraciones del proceso de espermatogénesis que detienen la maduración de los espermatozoides (**azoospermia**). Actualmente se ha desarrollado técnicas de **fecundación in vitro** que permiten fecundar óvulos con espermatozoides inmaduros, produciéndose el cigoto **in vitro**. El embrión se transplanta luego a las trompas de Falopio de la madre, para que complete normalmente el proceso de desarrollo, aunque, probablemente, el niño heredará la anomalía de su padre (De Robertis y De Robertis, 2007).



**Figura 6.25** Esquema de un espermatozoide humano.

**Oogénesis u ovogénesis.** La oogénesis (u ovogénesis) es el proceso mediante el cual se forman los óvulos o gametos femeninos, y se realiza en el par de gónadas femeninas u **ovarios**. Ver Figura 6.26.

Los oogonios continúan dividiéndose por mitosis pero algunos de ellos experimentan meiosis y originan **los oocitos u ovocitos primarios**.

Estas células replican pronto su ADN e inician la profase I de la primera división meiótica y detienen su marcha. Cada oocito primario está rodeado por una sola capa de células aplanadas procedentes del epitelio ovárico y que ahora se denominan **células foliculares**. Cada oocito, junto con las células foliculares que lo rodean, constituye un **folículo primordial**. Se calcula que esta etapa hay unos 6 millones de células entre oogonios y oocitos primarios, principalmente estos últimos. Ver figura 6.27.

Sin embargo, a partir de entonces, numerosos folículos primordiales comienzan a degradarse, tornándose atrésicos. Para el séptimo mes solo quedan algunos oogonios y aproximadamente un millón de folículos primordiales cerca de la superficie del ovario. En el momento del nacimiento sólo hay unos 400.000 folículos primordiales (Cooper y Hausman, 2011).

Durante el desarrollo embrionario, los ovocitos del folículo primordial completan la profase de la primera división meiótica. Durante la infancia, los folículos continúan en profase I. Sin embargo, como ocurría antes del nacimiento, la mayoría experimentan atresia. Al comenzar la pubertad sólo hay unos 40.000 folículos primordiales (Paniagua *et al*, 1997).

**Ovulación.** Cuando en la niña se inicia la pubertad se presenta el ciclo menstrual cada 28 días y se reinicia un nuevo ciclo ovárico. En la primera quincena del ciclo se reanuda la meiosis (que se había interrumpido en el período embrionario) y en el ovocito primario tienen lugar la primera división meiótica que originan dos células: el ovocito secundario, que contiene prácticamente la totalidad del citoplasma y el primer cuerpo polar. Cuando el ovocito secundario este en metafase II, se produce el rompimiento del folículo primordial y se expulsa el ovocito secundario a las trompas uterinas, proceso conocido como “ovulación” y se vuelve a detener la meiosis.

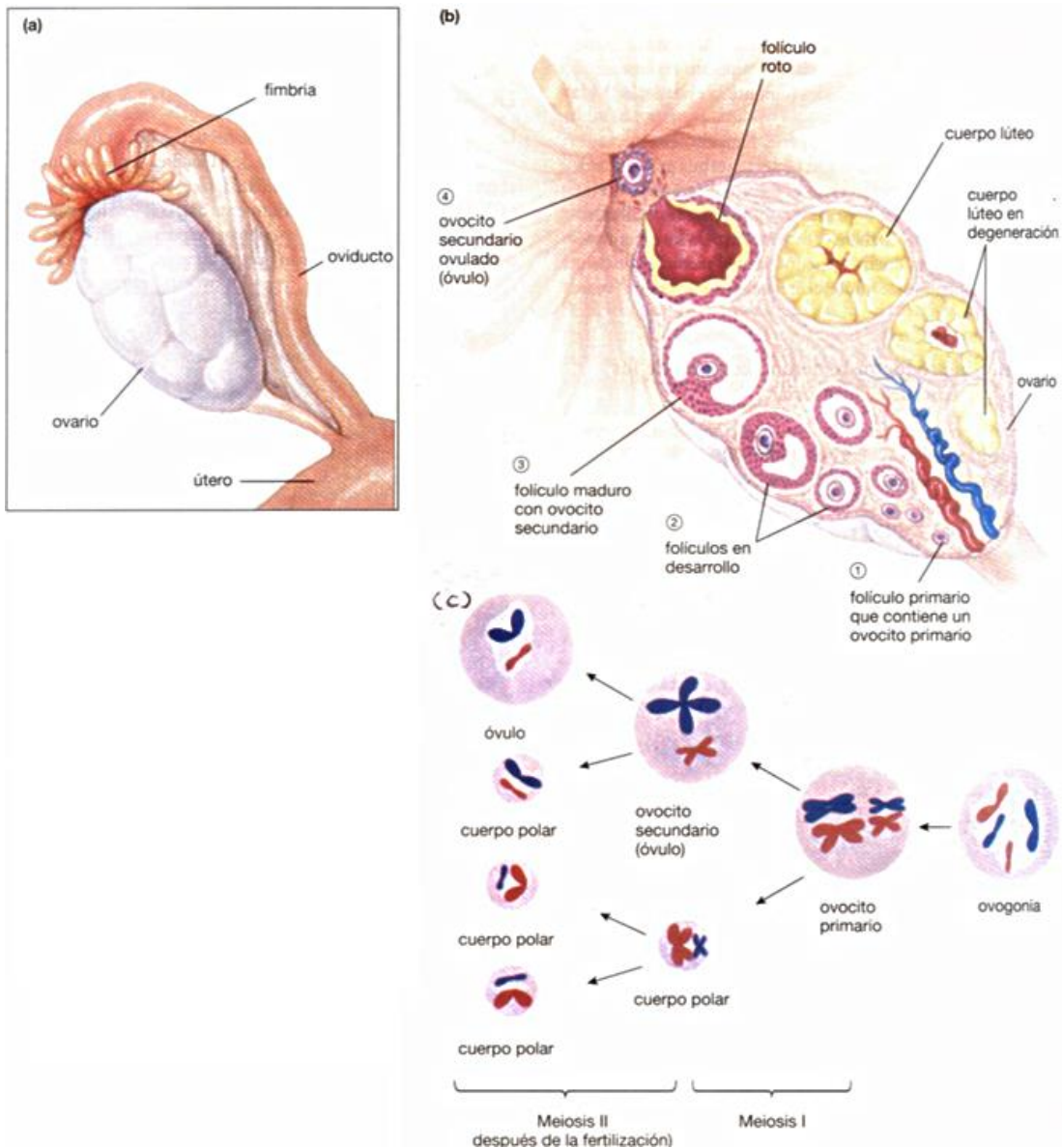
Si no hay fecundación el ovocito secundario muere en 24 horas. Al producirse la



ovulación, los restantes folículos que estaban en fase de maduración han empezado a degradarse por falta de estimulación específica. Los folículos primarios que desaparecen no dejan rastro. En sentido estrictamente biológico, la denominada ovulación debería llamarse **ovocitación** por cuanto se expulsa un ovocito secundario y no un ovulo formado (Manual CTO Medicina y Cirugía. Genética, 2011).

## **6.11 SEXUALIDAD.**

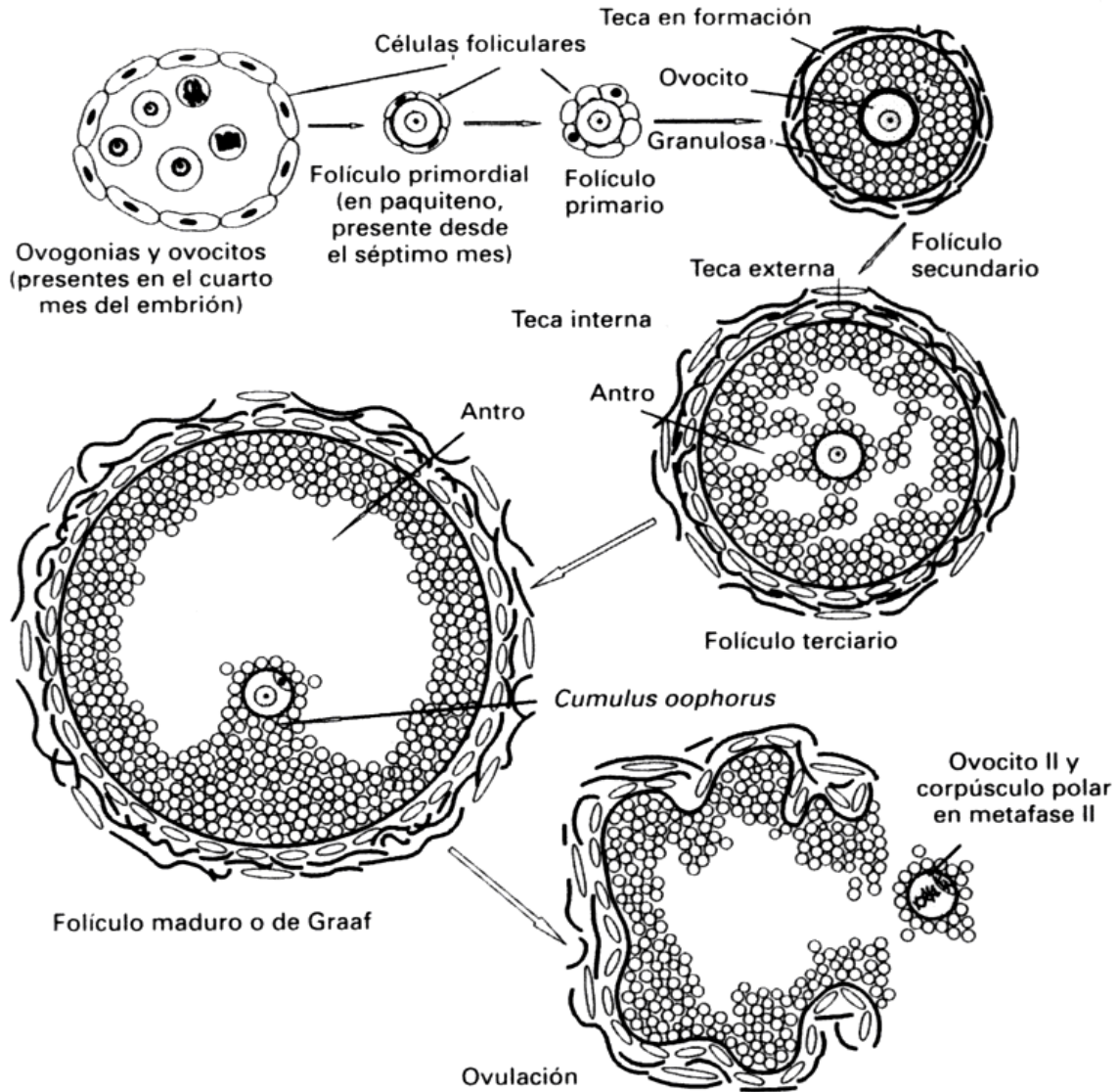
La sexualidad, expresada por medio de la masculinidad y la feminidad o **identidad de género**, es de interés sólo para los humanos. En la especie humana, la identidad del sexo tiene importancia tanto social como psicológica y se aprende a una edad temprana. La sexualidad en otros organismos sólo tiene significado reproductivo.



**Figura 6.26.** Oogénesis en la mujer. a) Vista externa del ovario y del oviducto. b) Desarrollo de los folículos en el ovario. c) Los estados celulares de la ovogénesis. Tomado de Audersik.

Una indicación de la sexualidad es el **dimorfismo sexual**, (Ver figura 7.27) lo cual significa que existe diferencia de forma entre los sexos. El dimorfismo genéticamente controlado ocurre en todos los mamíferos y en varios otros grupos de animales.

Los niveles hormonales de cada individuo determinan los caracteres sexuales secundarios e influyen en la sexualidad. Todos los humanos producen **hormonas estrógenos** (femeninas) y **andrógenas** (masculinas). Las hembras producen



**Figura 6.27.** Desarrollo de la línea germinal femenina. Esquema que muestra los cambios que se presentan desde los ogonios hasta los oocitos ovulados en la mujer. Tomado de Paniagua.

principalmente estrógenos y los machos andrógenos y la predominancia de una de estas hormonas determina el aspecto físico del individuo. Algunos individuos machos muestran caracteres sexuales exagerados, como las grandes astas del alce o las carnosidades del pavo.

Un equilibrio hormonal atípico puede hacer que los individuos masculinos sean

afeminados o que los individuos femeninos tengan atributos masculinos. El aspecto físico no necesariamente influye en la capacidad o interés sexuales (Fraser, 1999).



**Figura 6.28.** Dimorfismo sexual en aves: Macho y hembra del cóndor.

## 6.12 APARATO REPRODUCTOR DEL HOMBRE

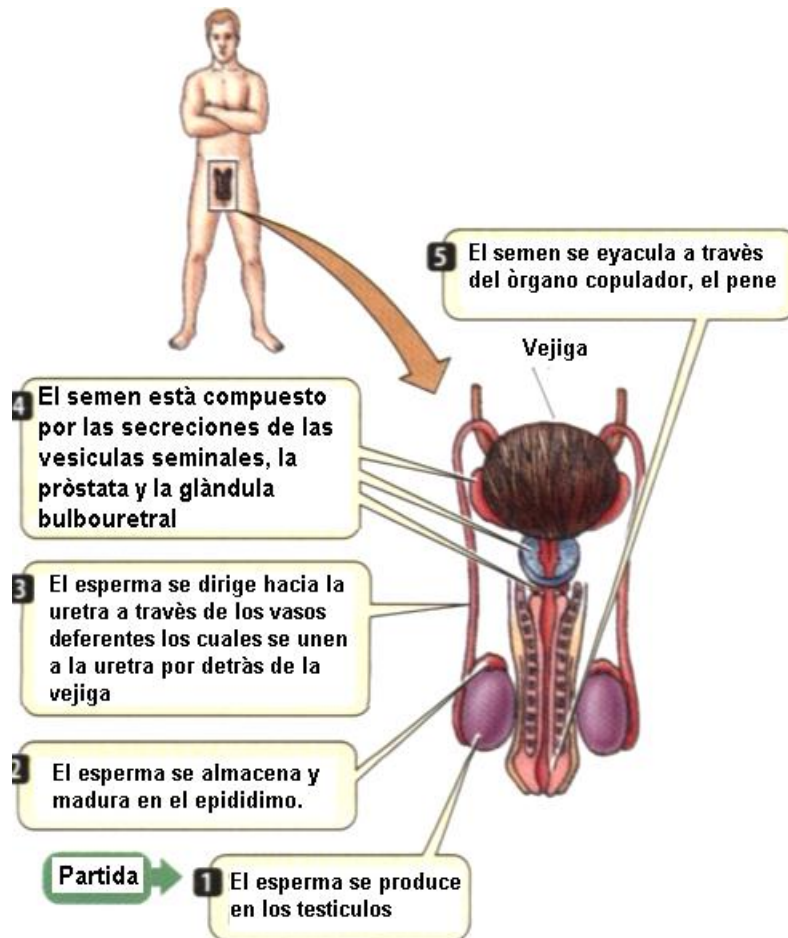
En la especie humana el hombre tiene la función reproductiva de producir espermatozoides y depositarlos en la vagina de la mujer. Esto se logra mediante el aparato reproductor masculino el cual produce espermatozoides y hormonas sexuales masculinas (testosterona) necesarias para que aquellos se produzcan y para el desarrollo de las características sexuales secundarias en la pubertad.

Cuando un espermatozoide se fusiona con el óvulo aporta la mitad de los cromosomas al cigoto y determina su sexo. (Ver Figura 6.29 y 6.30). El aparato reproductor masculino incluye, entre otras, las siguientes estructuras:

- Testículos, que producen espermatozoides y la hormona testosterona.
- Sistema de conductos que almacenan y transportan los espermatozoides desde los testículos hacia el exterior del cuerpo.
- Glándulas accesorias que producen los componentes líquidos del semen.
- Pene u órgano copulador (El Tiempo, 2010).

**Testículos.** Los testículos son dos glándulas (gónadas masculinas) que se desarrollan en la cavidad abdominal del embrión masculino y descienden a un saco externo, el **escroto**, lo cual ocurre generalmente antes del nacimiento. La función del escroto aparentemente

consiste en mantener los testículos en un ambiente más frío que en la cavidad abdominal. Se necesita una temperatura 3 °C más baja que la del cuerpo para que los espermatozoides se desarrollen.



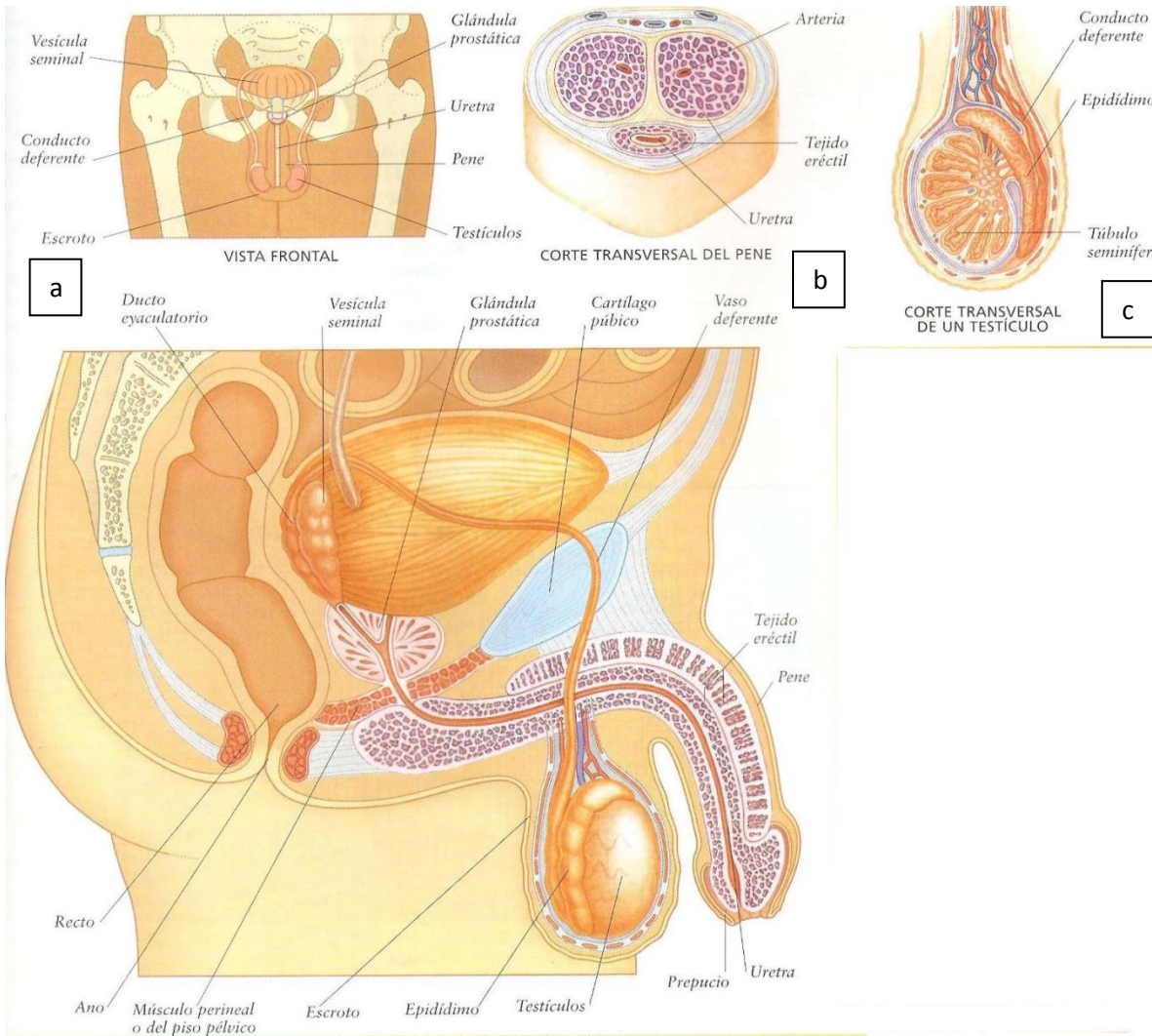
**Figura 6.29.** Aparato reproductor del hombre. Vista frontal.

En casos excepcionales, los testículos no descienden al escroto por lo cual hay necesidad de una intervención quirúrgica para lograrlo. Si no se corrige la anomalía los túbulos seminíferos degeneran con el tiempo y el varón queda estéril por cuanto no puede producir espermatozoides.

Cuando la temperatura fuera del saco escrotal es cálida, el saco se adelgaza y cuelga laxo formando múltiples pliegues mientras que cuando la temperatura exterior es fría, los músculos que se encuentran por debajo de la piel del escroto se contraen y acercan los



testículos al cuerpo lo cual garantiza una temperatura testicular relativamente constante.

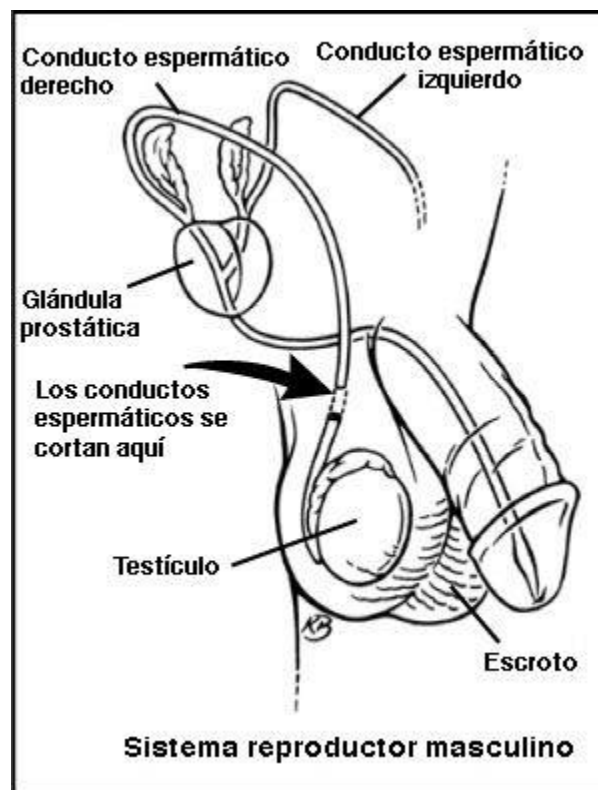


**Figura 6.30.** Aparato reproductor masculino. a) Vista frontal, b) Corte transversal del pene. c) Corte transversal del testículo.

Cada testículo está dividido en unos 250 compartimientos denominados **lóbulos** y cada uno de ellos posee numerosos **túbulos seminíferos** que se enrollan apretadamente. Cada túbulo seminífero tiene alrededor de 80 cm. de largo y los dos testículos juntos contienen aproximadamente 500 m de túbulos. Los espermatozoides se producen continuamente dentro de los túbulos. Entre un túbulo y el siguiente se encuentran las **células intersticiales** o **células de Leydig** que producen la **testosterona** u hormona sexual masculina ( El Tiempo, 2010).

**Sistemas de conductos.** Las células espermáticas salen de los túbulos seminíferos de cada testículo y son conducidas al **epidídimo**, un tubo enrollado de 7 m de longitud

aproximadamente, situado en lo alto del testículo. El epidídimo está rodeado por una capa delgada, circular, de fibras de músculo liso, cuyas contracciones contribuyen al transporte de los espermatozoides. Se presentan dos epidídimos, uno sobre cada testículo. Aquí los espermatozoides completan su maduración y se almacenan hasta que son expulsados en el semen con la eyaculación o bien se desintegran y se reabsorben por los tejidos adyacentes.



**Figura 6.31.** Esquema que muestra la técnica de la vasectomía en el hombre.

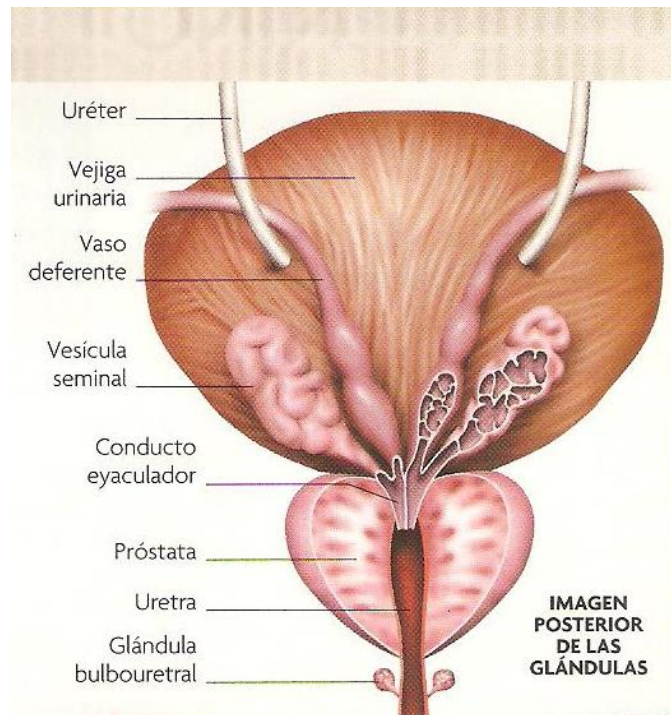
Desde cada epidídimo los espermatozoides pasan al **vaso o conducto deferente**, que lleva los espermatozoides a través de la cavidad abdominal. Cada vaso deferente, sus nervios, arterias y venas acompañantes y el tejido conectivo que los envuelve constituye el denominado **cordón espermático**. El corte de los vasos deferentes (**vasectomía**) ofrece un método relativamente seguro de control natal. Los dos vasos deferentes, uno de cada testículo, tienen una longitud aproximada de 35-45 cm y conectan el epidídimo con los conductos eyaculadores.

Conductos eyaculadores. Comienzan al final de los vasos deferentes y se juntan en la uretra dentro de la próstata. Transportan el semen, el cual durante la eyaculación se expulsa a través del pene.

En el hombre, la uretra es un tubo con doble finalidad: transportar orina de la vejiga durante la micción y conducir los espermatozoides de los testículos. En la eyaculación, el esfínter

de la base de la vejiga se cierra a causa de la elevada presión en la uretra (Mader, 2008).

**Glándulas Accesorias.** A medida que los espermatozoides se desplazan por los conductos se mezclan con las secreciones de tres tipos de glándulas: un par de vesículas seminales, la **próstata** única y un par de **glándulas bulbouretrales o de Cowper**. Las secreciones de estas glándulas junto con los espermatozoides constituyen el **semen o líquido seminal**. Ver Figura 6.32.



**Figura 6.32.** Glándulas accesorias del aparato reproductor masculino.

Las dos vesículas seminales descargan en los vasos deferentes un fluido (60% del líquido seminal) rico en fructosa, vitamina C y prostaglandinas. La fructosa se utiliza como combustible de la respiración celular dentro de las mitocondrias de los espermatozoides, suministrándoles ATP para su desplazamiento. Las prostaglandinas son mensajeros químicos que estimulan las contracciones del útero, produciendo corrientes de fluidos que conducen los espermatozoides a los oviductos.

La **próstata** es una glándula que vierte un líquido lechoso que constituirá el 30% del volumen del esperma y contiene, enzimas, ácidos grasos, colesterol y sales para ajustar el equilibrio Ácido-base del semen.

Aún cuando la secreción prostática es ligeramente ácida, el semen es alcalino y así neutraliza el pH normalmente ácido del tracto reproductor femenino.

Las dos **glándulas bulbouretrales o de Cowper** son pequeñas estructuras en forma de arveja que se encuentran en la base del pene y secretan un líquido lubricante (5% del



volumen del semen) que ayuda a la penetración del pene durante el coito y favorece el movimiento de los espermatozoides a lo largo de la uretra (Audersik y Audersik, 1999) .

Las secreciones de las glándulas accesorias se añaden a los espermatozoides al contraerse sus envolturas musculares durante la eyaculación y representa casi el 60% del volumen del líquido seminal.

Durante el orgasmo el varón eyacula alrededor de 3,5 ml de **semen**, del cual, al menos, el 10% contiene espermatozoides (aproximadamente 400 millones) aunque solamente uno es suficiente para que haga contacto con el oocito secundario y se realice la fecundación.

**El pene**, también denominado falo o miembro viril, es el órgano copulador adaptado para transferir espermatozoides a la vagina. El pene está formado por tres masas cilíndricas de tejido eréctil esponjoso (algunas veces denominadas **cuerpos cavernosos**), cada una de las cuales contiene numerosos espacios del tamaño de la cabeza de un alfiler. Dos de estas masas se hallan en la porción dorsal del pene y la tercera se encuentra por debajo de ellas, rodeando la uretra, agrandándose en el extremo distal (lejano) formando el **glante**, el cual posee una cubierta protectora lisa que se encuentra sobre los tejidos esponjosos.

El extremo basal del pene se agranda y forma el bulbo que está inserto por debajo de la cavidad pelviana y rodeado por músculos que participan en el orgasmo. La porción exterior del pene está cubierta por una capa delgada y suelta de piel que, en su extremo, forma un pliegue que rodea el glante. Este pliegue, denominado **prepucio**, a veces se elimina quirúrgicamente (circuncisión) con frecuencia poco después del nacimiento. La uretra termina en una ranura, el **meato**, que se abre en el glante (Purves et al, 2001).

El pene del hombre carece de hueso, mientras que algunos mamíferos como los murciélagos poseen estructuras óseas anexas al pene (huesos peneales).

### 6.13 APARATO REPRODUCTOR DE LA MUJER

El aparato reproductor femenino produce óvulos, recibe el pene y los espermatozoides durante el coito, alberga y nutre al embrión durante el desarrollo prenatal, expulsa al neonato durante el parto y produce leche para el bebé (lactación). Estos procesos son regulados y coordinados por la interacción de hormonas secretadas por el hipotálamo, el lóbulo anterior de la hipófisis y los ovarios.

Los principales órganos del aparato reproductor femenino son:

- Ovarios, que producen óvulos y hormonas. Ver Figura 6.33 y 6.34
- Trompas u oviductos, que transportan los óvulos y son los sitios en donde ocurre la fecundación.
- Útero, que obra a manera de incubadora para el feto en desarrollo.
- Vagina, que recibe el pene y sirve como canal de parto.
- Vulva o estructuras genitales externas, y
- Mamas (senos) que nutren al neonato.

**Ovarios.** Las gónadas femeninas u ovarios producen tanto gametos (óvulos) como hormonas sexuales. Los ovarios tienen aproximadamente el tamaño y la forma de almendras grandes y se localizan cerca de las paredes laterales de la cavidad abdominal; se mantienen en su posición por varios ligamentos de tejido conectivo (Curtis y Barnes, 2000).

En la capa externa del ovario se encuentra tapizada por los **oogonios** los cuales dan origen a los óvulos. Durante la **oogénesis** y cuando un oocito se desarrolla, queda separado de sus células foliculares circundantes por una membrana gruesa, la **zona pelúcida**. Las células foliculares mismas proliferan de modo que el folículo aumenta de tamaño. Conforme esto ocurre dichas células secretan un líquido, que se acumula en el espacio entre ellas. El tejido conectivo que rodea las células foliculares contiene células que secretan la hormona sexual esteroide **estradiol**.

A medida que el folículo madura se acerca a la superficie del ovario, hasta llegar a parecer una protuberancia llena de líquido en la superficie ovárica. Por lo general sólo un folículo madura completamente cada mes. Varios otros pueden desarrollarse por una semana, y después se deterioran. Permanecen en el ovario como folículos atrésicos (degradados).

En la ovulación, el óvulo (en realidad un oocito secundario) es expulsado a través de la pared del ovario hacia la cavidad pélvica. La parte del folículo que queda en el ovario se transforma en un **cuerpo amarillo** o **cuerpo lúteo**, una glándula endocrina temporal. Si no ocurre el embarazo, el cuerpo amarillo se degrada y permanece en el ovario como una cicatriz blanca, **el cuerpo blanco**.

**Trompas de Falopio y útero.** Cada ovario se une a un oviducto denominado **trompa de Falopio** en las mujeres. El extremo abierto de la trompa tiene forma de fleco con unas estructuras ciliadas, llamadas **fimbrias**, que se encuentran sobre el ovario. Las trompas conducen el ovocito hasta el útero, casi inmediatamente después de la ovulación, mediante contracciones peristálticas de la pared muscular de la trompa y el batido de los cilios de su revestimiento. Dentro de la trompa ocurre la fecundación o el óvulo se degrada.

**Útero.** En una mujer no embarazada, el útero es un órgano hueco, muscular, en forma de pera, de tamaño ligeramente inferior a un puño (aproximadamente 7 cm. de largo y 5 cm. de ancho). Reposo casi horizontalmente en la cavidad abdominal, en la parte superior de la vejiga.

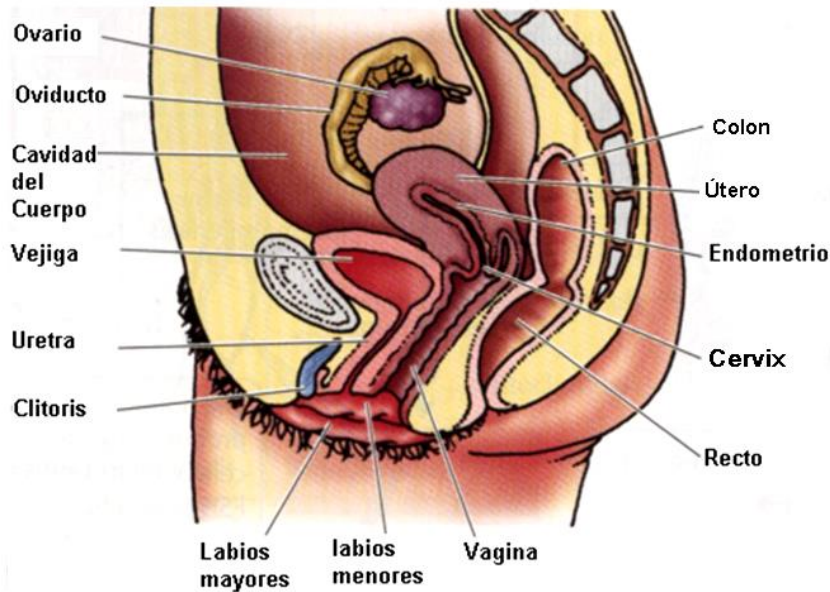
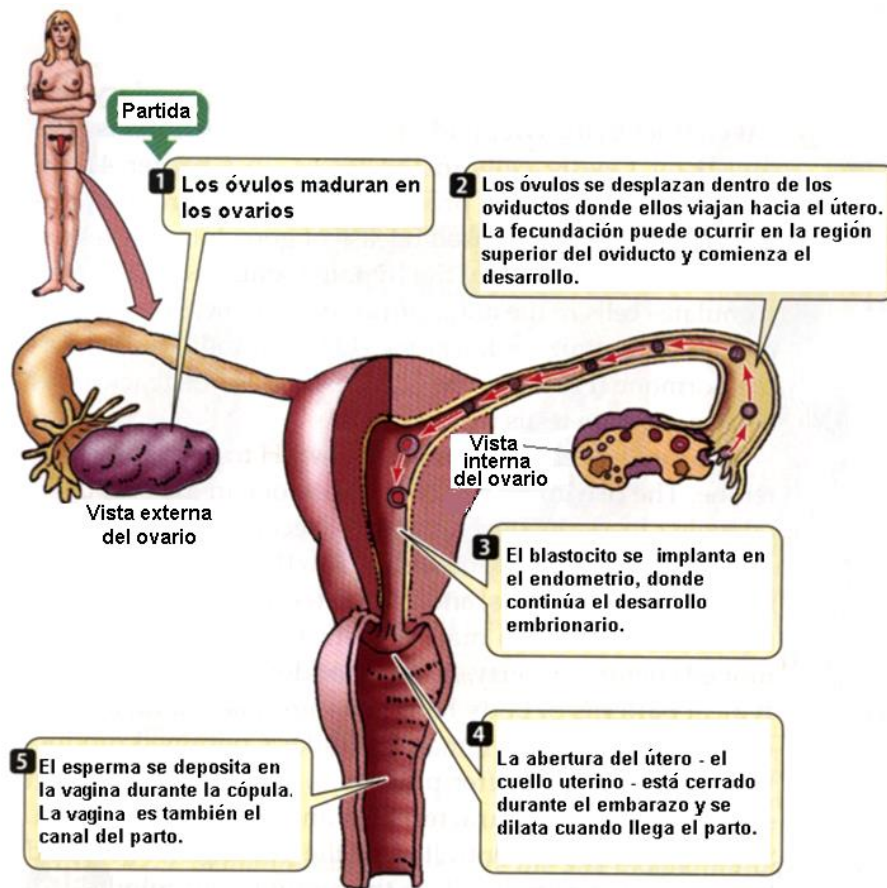


Figura 6.33. Aparato reproductor femenino, vista frontal y lateral.

En el útero o matriz se desarrollará el óvulo fecundado o cigoto durante los próximos nueve meses. La pared uterina posee dos capas que corresponden a sus funciones: la capa interna o **endometrio**, estrato densamente irrigado por vasos sanguíneos que representará la porción materna de la placenta y la capa **externa o miometrio** la cual se contrae fuertemente durante el parto para expulsar el feto (El Tiempo, 2010).

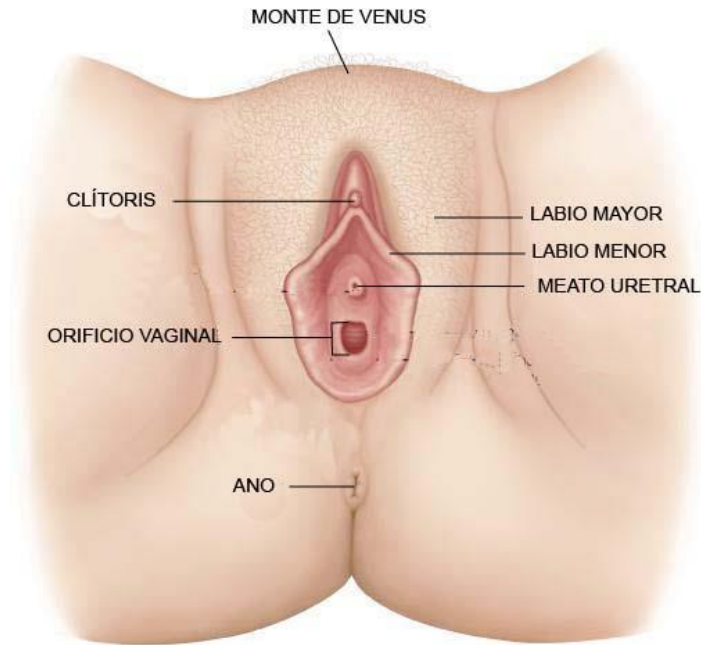
En el ovario, los folículos secretan estrógenos que estimulan la capa limitante del útero para que crezca y desarrolle una extensa red de vasos sanguíneos y glándulas que producen nutrientes. Después de la ovulación, los estrógenos y la progesterona liberados por el cuerpo lúteo promueven el crecimiento continuo del endometrio. Así, si un óvulo es fecundado, encuentra un medio propicio para crecer. Sin embargo, si el óvulo no es fecundado, el cuerpo lúteo se desintegra, las concentraciones de estrógenos y progesterona disminuyen y el endometrio crecido se desintegra. El útero se contrae y elimina el exceso de tejido endometrial y, en ocasiones, produce dolores menstruales. El flujo que resulta de la expulsión de este tejido y de la sangre acumulada recibe el nombre de **menstruación o regla**.

El extremo más externo del útero está casi cerrado por un anillo de tejido conectivo, el **cervix o cuello uterino**. Los espermatozoides pasan a través de esta abertura en su camino a la trompa. El cervix solo se expande cuando llega el parto para permitir la salida del feto.

El cuello uterino es un sitio común de cáncer en la mujer. Su detección suele ser posible con la **prueba de Papanicolaou**, un proceso sistemático en el cual durante un examen ginecológico ordinario se raspan unas pocas células del cuello uterino y son estudiadas al microscopio. Si se detecta cáncer de esa región anatómica en sus etapas muy tempranas de malignidad, la paciente puede curarse (Mader, 2008).

**Vagina.** La vagina es un tubo muscular elástico que se extiende desde el útero hasta el exterior del cuerpo. Funciona como receptáculo de los espermatozoides durante el coito y como parte del conducto por el cual el neonato deja el cuerpo de la madre (canal del parto). El revestimiento vaginal contiene abundante glucógeno que se convierte en ácido láctico por acción de las bacterias normalmente presentes en la vagina. En consecuencia, el conducto vaginal es ligeramente ácido, con un pH entre 4 – 5. Dentro de la vagina están las glándulas de Bartholin, que secretan un líquido lubricante durante el coito.

**La vulva.** Los órganos genitales externos de la mujer, el **clítoris** y los **labios**, se conocen colectivamente con el nombre de **vulva**. El clítoris es una estructura pequeña, alrededor de 2 cm. de largo con dos bulbos que se encuentran a cada lado de la abertura vaginal. Como el pene masculino, el clítoris contiene tejidos eréctiles que se hinchan al llenarse de sangre durante la excitación sexual.



**Figura 6.34.** Órganos sexuales externos de la mujer.

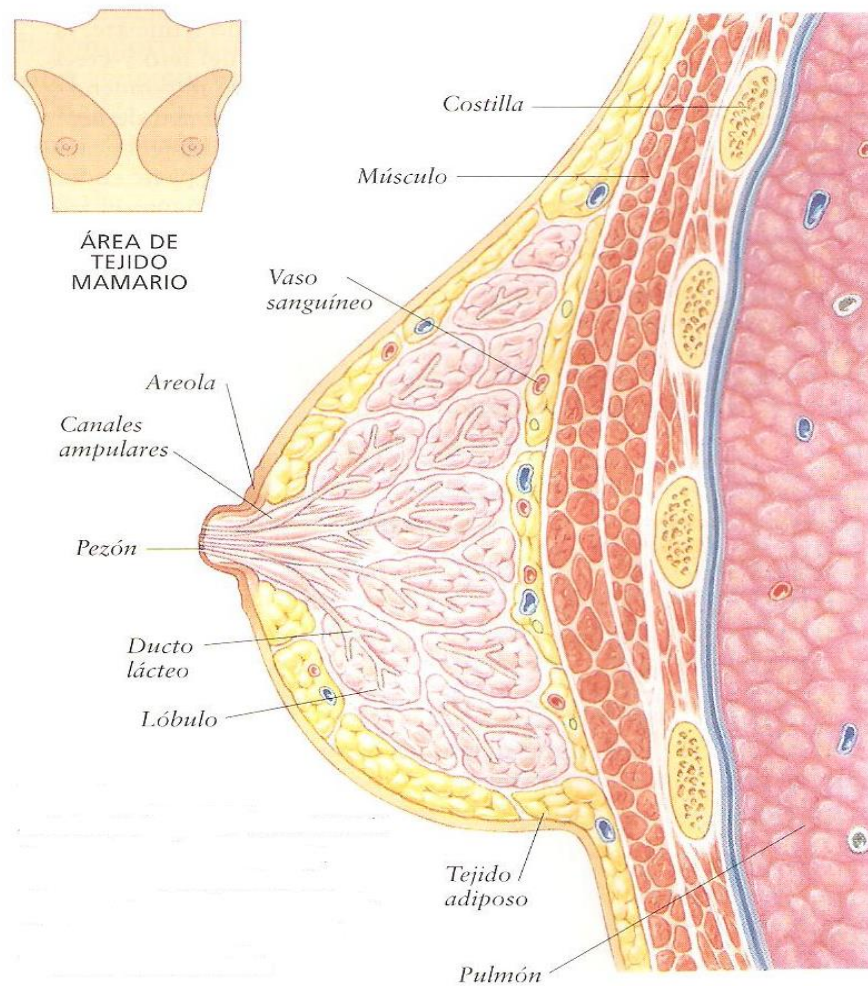
El clítoris tiene abundantes terminaciones nerviosas y funciona como centro de sensación sexual en la mujer. En la vulva se encuentran las aberturas de la vagina y de la uretra (Meato urinario).

**Labios.** Son pliegues de la piel que comprenden los **labios menores**, delgados y membranosos que rodean las aberturas vaginal y uretral. En posición más externa que los labios menores se encuentran los **labios mayores**, más gruesos que contiene tejido adiposo y conjuntivo, glándulas sebáceas, terminaciones de nervios sensoriales y músculo liso. En la pubertad empieza a crecer el vello púbico en sus superficies expuestas, las aberturas de la vagina y la uretra (Paniagua *et al*, 2011). En el embrión los labios mayores son homólogos al escroto del varón.

El **monte de Venus** es la prominencia de tejido adiposo que se halla justo arriba del clítoris, en la unión de piernas y torso. En la pubertad se cubre de vello púbico grueso. El **himen** es un delgado anillo de tejido que algunas veces bloquea parcialmente la entrada a la vagina.

**Las mamas.** Tanto los hombres como las mujeres poseen mamas que contienen glándulas sudoríparas modificadas llamadas glándulas mamarias. En las mujeres las

mamas son mucho más desarrolladas y producen leche después del parto.



**Figura 6.35.** Mama o seno de la mujer adulta. Los senos consisten básicamente en lóbulos y ductos lácteos, grasas y tejido conectivo. La leche es expulsada por el pezón. El área oscura alrededor del pezón se llama areola.

Las mamas o senos, que contienen las glándulas mamarias, cubren los músculos pectorales y se unen a ellos por medio de tejido conectivo. Bandas fibrosas de tejido llamadas **ligamentos de Cooper** unen firmemente las mamas a la piel. Cada mama o seno está formada por 15 a 20 lóbulos de tejido glandular, a su vez subdivididos en lóbulos de tejido conectivo en los cuales están inmersas células glandulares. Las células secretoras están dispuestas en pequeños grupos parecidos a racimos de uvas llamados **alvéolos**. De cada racimo emergen conductos **galactóforos** que se unen en un sólo conducto para cada lóbulo, de modo que la superficie de un pezón tiene de 15 a 20 aberturas. El tejido adiposo que rodea al lóbulo del tejido glandular determina el tamaño de las mamas y explica su blandura. El tamaño de la mama no influye en la capacidad de producir leche. Las mamas son el sitio más común de cáncer en la mujer. (Ver Figura



6.35).

**Ciclo menstrual.** El **ciclo menstrual** comprende una serie de fenómenos que modifican periódicamente el aparato reproductor de las mujeres y de los Primates. Cuando una niña se acerca a la pubertad, la hipófisis anterior secreta las hormonas gonadotrópicas, la **hormona folículo estimulante o FSH** y la **hormona luteinizante LH**, las cuales indican a los ovarios que deben entrar en actividad. La interacción de dichas hormonas con estrógeno y progesterona de los ovarios regula el **ciclo menstrual** que prepara al cuerpo femenino para el posible embarazo (Overmire, 2003).

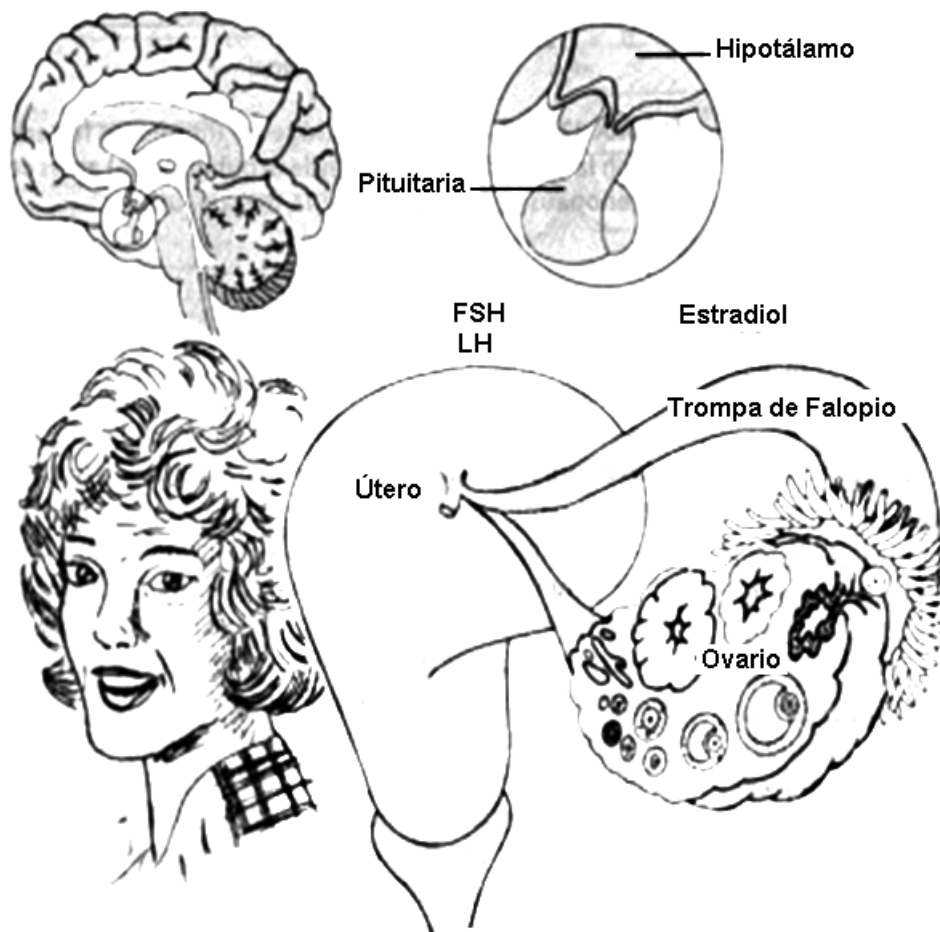
Aunque existe amplia fluctuación, un ciclo menstrual típico dura 28 días. El primer día del ciclo está marcado por el inicio de la **menstruación**, o sea el flujo de sangre y tejidos del endometrio a través de la vagina. La ovulación ocurre aproximadamente durante el día 14 del ciclo. La palabra menstruación se deriva de un vocablo latino que significa “luna” ya que en muchas mujeres el período menstrual dura aproximadamente lo mismo que el mes lunar, 28 días.

Dado que las mareas también tienen una periodicidad de 28 días debido a la influencia lunar, algunos biólogos afirman que la menstruación es el vestigio de un ciclo establecido cuando nuestros antepasados vivieron a orillas del mar y fueron influenciados por las mareas. La menstruación se suspende durante el embarazo y desaparece poco a poco cuando las mujeres llegan a la **menopausia**, período en el que ocurre una reducción de la secreción de las hormonas que controlan el ciclo menstrual. La menopausia no se relaciona necesariamente con una disminución del deseo sexual.

**Ciclo estral o estro.** En las hembras de otros mamíferos diferentes a los Primates, se presenta un ciclo de receptividad sexual, quizás menos complejo que el ciclo menstrual, al que se denomina ciclo estral o estro. Los animales que están en el punto culminante del estro experimentan una intensa pero efímera compulsión de apareamiento; comúnmente cuando esto ocurre se dice que los animales están “en calor” o “en celo” (Fraser, 1999).

Antes y después de este breve período, el impulso sexual está latente. A nivel corporal, el ciclo estral prepara el aparato reproductor de la hembra para la cópula. No se presenta el complejo desarrollo del recubrimiento uterino (endometrio) que se observa en el ciclo menstrual. Si no hay fecundación cualquier engrosamiento preparatorio del endometrio es reabsorbido simplemente por el cuerpo. Las fases del ciclo están sujetas a la influencia del medio; en algunos animales la expulsión del óvulo (ovulación) depende de que haya cópula o no.

La mujer constituye una de las pocas especies receptivas a la cópula durante periodos infértiles. Además, existe evidencia de que en algunas mujeres la ovulación puede ser causada por el coito (Nelson et al, 1998).



**Figura 6.36.** Las hormonas y el ciclo menstrual. Las hormonas que participan en el ciclo menstrual son cuatro y tienen diferentes funciones: la FSH estimula la maduración de los óvulos. El estradiol nutre el revestimiento del útero y activa el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios. La LH determina ovulación y la progesterona estimula la retención de los óvulos fecundados. Cada hormona estimula e inhibe la producción de otras hormonas, aunque esta relación hormonal se interrumpe cuando llega la menopausia. La producción de LH parece explicar los accesos de calor que suelen sentir algunas mujeres postmenopáusicas. Tomado de Overmire.

#### 6.14 COPULACIÓN Y FECUNDACIÓN HUMANA.

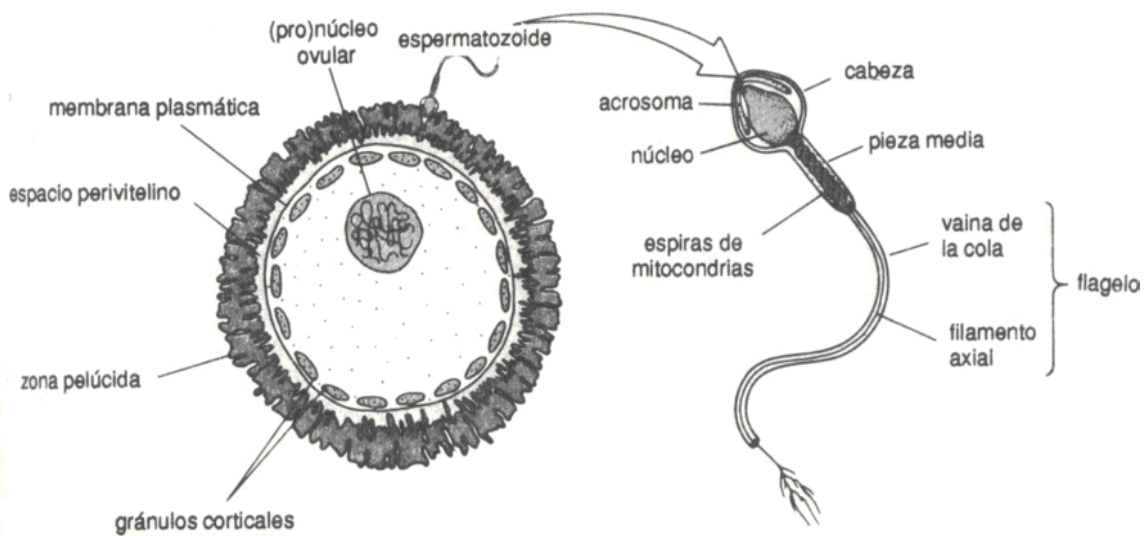
Durante la **cópula** también llamada **coito** o contacto sexual en el caso del ser humano, el pene masculino penetra a través de la vulva y deposita el semen en el extremo superior de la vagina. Este proceso es el resultado de la excitación sexual, en la que los impulsos nerviosos estimulan las arterias del pene para dilatarse. Los vasos sanguíneos se llenan de sangre, lo cual hace que el tejido eréctil se hinche. Esto comprime las venas que llevan sangre lejos del pene, retardando la salida sanguínea. Así, entra en el pene más sangre



de la que sale, hinchando aún más el tejido eréctil. El pene experimenta una erección, esto es, adquiere mayor longitud, grosor y firmeza lo cual le permite penetrar en la vagina de la mujer (Paniagua *et al*, 2011).

La etapa de máxima tensión es el **orgasmo** y en el hombre se caracteriza por la **eyaculación** o expulsión del semen causada por las contracciones de los vasos deferentes. Una vez en la vagina, el semen continúa su avance hacia el útero y hacia las trompas de Falopio, en donde habrá de ocurrir la fecundación si hay disponible un oocito maduro.

Aún cuando un espermatozoide puede nadar varios milímetros por segundo, posiblemente su desplazamiento hacia las trompas de Falopio es impulsado también por contracciones musculares de las paredes del útero y de las trompas. En todo caso, el espermatozoide puede unirse al óvulo 15 minutos después de la eyaculación. El desplazamiento está acompañado de alta mortalidad de espermatozoides. De estos **solamente uno** podrá penetrar en el óvulo y fecundarlo. (Ver Figura 6.37).



**Figura 6.37.** Fecundación en humanos. La fecundación consiste en la penetración de las cubiertas protectoras del óvulo por el espermatozoide móvil, la introducción del núcleo espermático en el citoplasma ovular y por último, la fusión de los dos pronúcleos para formación de un solo núcleo diploide. El núcleo de cada gameto se denomina pronúcleo antes de la fusión.

El anterior tipo de fecundación se denomina “interna” porque se realiza dentro del organismo de la hembra y es común en los mamíferos. Así mismo, entre los organismos que depositan huevos amniotas (reptiles, aves y mamíferos monotremas) la fecundación es interna. En las aves, la fecundación interna se realiza cuando el macho y al hembra

unen sus cloacas (cámaras que reciben los orificios genitales y excretorios) en una variación del coito llamada **aposición cloacal**. En este caso el macho carece de pene, pero en algunas aves la cloaca del macho se proyecta para penetrar en la cloaca de la hembra, como es el caso del pato.

En una variante de la fecundación interna, los machos de algunas especies depositan sus espermatozoides en un receptáculo denominado **espermatóforo**. Los machos de algunas especies de ácaros y escorpiones simplemente depositan el espermatóforo en el suelo. Si una hembra encuentra el espermatóforo, se fecunda a si misma insertándolo en su cavidad reproductora. El calamar macho levanta su espermatóforo con un tentáculo y lo inserta dentro de la hembra. En ambos casos, los espermatozoides se liberan dentro del aparato reproductor de la hembra (Ehrlich *et al*, 2004).

La fecundación interna sólo se realiza cuando los óvulos maduran y se liberan en el tracto reproductor femenino durante el tiempo limitado en que los espermatozoides están presentes. La mayoría de los mamíferos copulan solo en ciertas épocas del año o cuando la hembra da señales de que está lista para aparearse. La época o la señal con frecuencia coincide con la ovulación o liberación del óvulo. La copulación desencadena la ovulación en unos cuantos animales, como en los conejos. Una estrategia alternativa, empleada por muchas serpientes hembras e insectos es almacenar espermatozoides durante días, semanas o meses garantizando así la dotación para cuando los óvulos estén listos (Nason, 1990).

Existen especies animales en las cuales predomina la “**fecundación externa**”, que tiene lugar cuando el espermatozoide y el óvulo se unen fuera del organismo, en su entorno. Numerosas especies piscícolas y de anfibios, así como muchos invertebrados realizan la fecundación externa; el macho y la hembra están juntos durante la época reproductiva y liberan sus gametos en el agua. La conducta de apareamiento garantiza que espermatozoides y óvulos se liberen a la vez y en el mismo lugar (**sincronización temporal y espacial**). El espermatozoide nada entonces a los óvulos y se realiza la fecundación. Los invertebrados marinos, los peces y las ranas efectúan la fecundación externa.

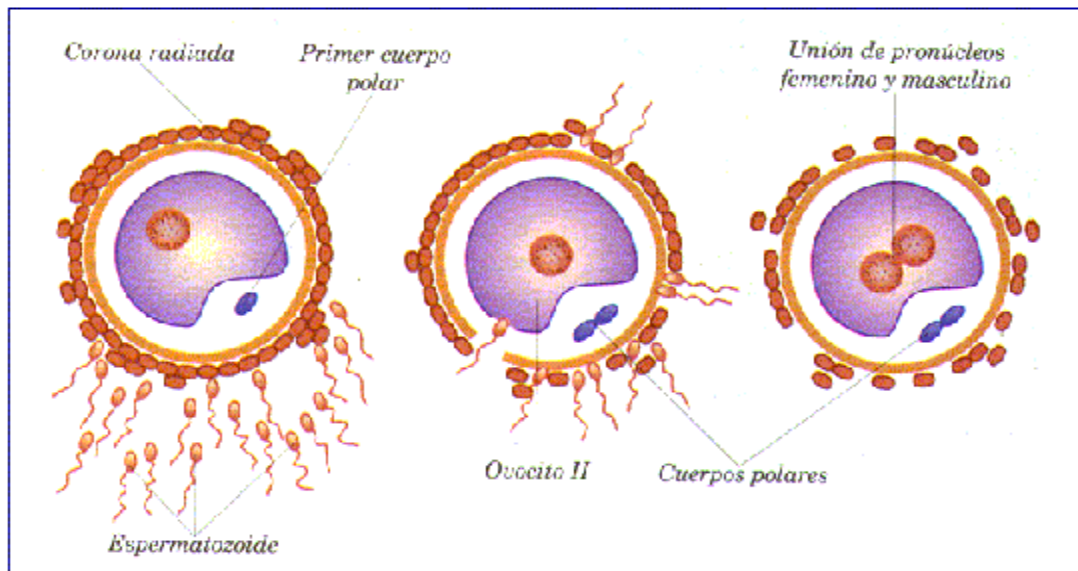
Otros animales comunican su disponibilidad sexual liberando feromonas en el agua. Una **feromona** es una sustancia química liberada por el cuerpo de un animal que afecta el comportamiento de un segundo animal. Las feromonas sincronizan el desove de muchos invertebrados inmóviles o perezosos, como los mejillones y las estrellas de mar. En general, cuando una hembra desova igualmente libera una “feromona de apareamiento” en el agua la cual es detectada por los machos cercanos que liberan rápidamente millones de espermatozoides.

La sincronización por sí misma no garantiza la reproducción eficaz. Los corales, las

estrellas de mar y los mejillones pierden cantidades enormes de espermatozoides y óvulos debido a que son liberados de manera muy distinta. En algunas especies de animales móviles, la sincronización temporal y espacial puede garantizarse por **una conducta de apareamiento**. Por ejemplo, la mayor parte de los peces tienen un ritual de cortejo en el que macho y la hembra se acercan entre sí y liberan sus gametos en el mismo lugar y al mismo tiempo.

Las ranas efectúan este ritual asumiendo una conducta de apareamiento característica denominado **amplexo**. En las orillas de las charcas y de los ríos el macho monta a la hembra y comienza a oprimir los costados de ésta con los gruesos cojinetes de sus pulgares. Tan pronto como la hembra expulsa una cadena de huevos en respuesta a los apretones, el macho libera sobre los huevos el semen, de modo que la fecundación ocurre en el entorno de la pareja en amplexo (Olucha et al, 1995).

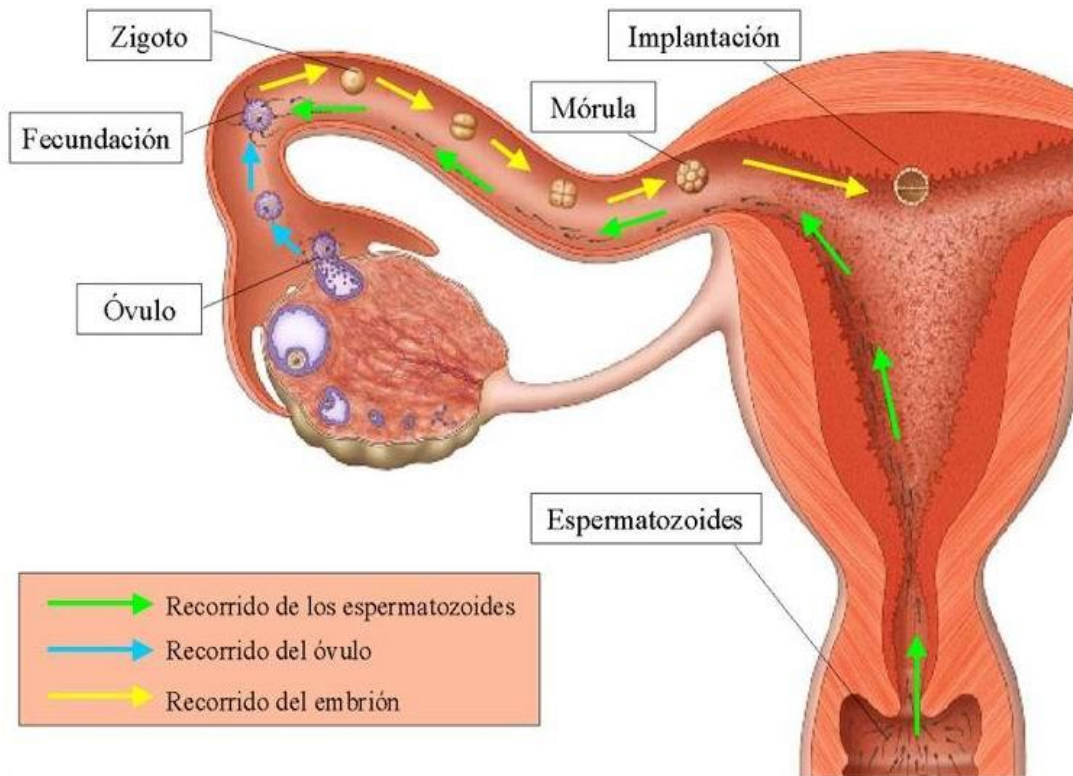
**Fecundación.** Para que ocurra la fecundación en la mujer se debe producir el encuentro entre el ovocito secundario expulsado en la ovulación y un espermatozoide proveniente del semen depositado en la vagina durante la eyaculación. Este encuentro normalmente se realiza en el tercio superior de la trompa de Falopio.



**Figura 6.38.** Penetración del espermatozoide en el óvulo.

En este momento se reanuda y completa la división meiótica y se libera el segundo cuerpo polar. Entonces el óvulo fecundado contiene el genoma haploide ( $n$ ) proveniente de cada gameto, el cual se denominará pronúcleo femenino o pronúcleo masculino según provenga del ovocito o del espermatozoide. Los pronúcleos se ubican en la corteza del

ovocito y luego migran al centro donde se alinearán los cromosomas paterno y materno en el plano ecuatorial del huso mitótico.



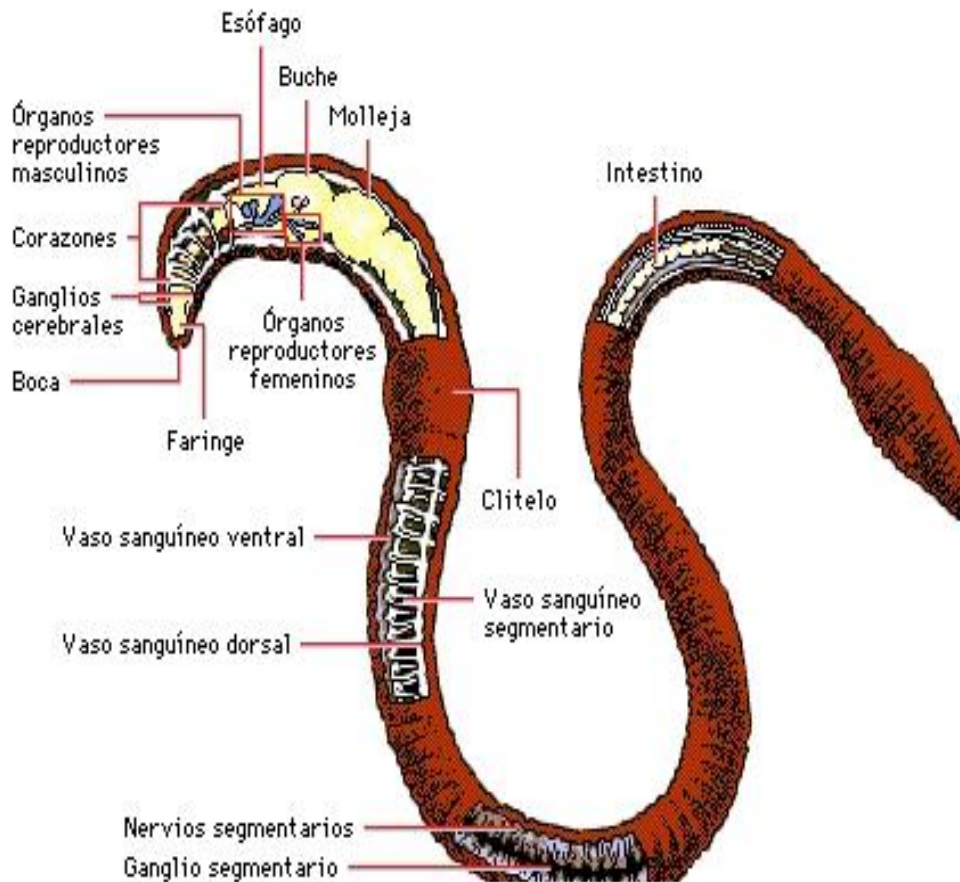
**Figura 6.39.** Localización del proceso de fecundación en la trompa de Falopio.

De esta manera, se produce una asociación de los cromosomas parentales, proceso que se denomina **singamia**, que culminará en la formación del núcleo diploide ( $2n$ ) de la nueva célula llamada cigoto (Manual CTO de Medicina y Cirugía. Genética, 2010).

### 6.15 HERMAFRODITISMO.

En la reproducción sexual, generalmente intervienen dos progenitores: uno masculino y otro femenino. No obstante, se presenta una excepción y es el denominado “**hermafroditismo**”, en el que un solo progenitor produce tanto óvulos como espermatozoides.

La mayor parte de los animales hermafroditas intercambian gametos con otros individuos de su misma especie, lo cual permite conservar las ventajas de la recombinación genética, tal como sucede con la lombriz de tierra. Sin embargo, en ciertas especies es necesaria la autofecundación, es decir, que se fecunden los óvulos con los espermatozoides de un mismo individuo. Estos animales, que incluyen tenias y muchos caracoles acuáticos, están relativamente inmóviles y se pueden encontrar aislados de otros miembros de su misma especie. Obviamente,



**Figura 6.40.** Esquema de un corte lateral de la lombriz de tierra. Ejemplo de animal hermafrodita.

bajo estas circunstancias la capacidad de autofecundarse es ventajosa (Starr y Taggart, 2004).

En la especie humana, el hermafroditismo en sentido estricto no se presenta, pues científicamente no se ha reportado el caso de una persona que presente simultáneamente ovarios y testículos **funcionales**. En contadas ocasiones se presentan casos denominados de “**pseudohermafroditismo o ambigüedad sexual**” un problema de las glándulas suprarrenales que se manifiesta en la defectuosa diferenciación de los órganos genitales externos o internos de un recién nacido. Esto significa que los órganos sexuales del bebé no indican con exactitud si se trata de un niño o una niña (Solomon et al, 2011).



**Figura 6.41** Fotografía que muestra un caso de pseudohermafroditismo o ambigüedad sexual en humanos.

## **6.16 VARIANTES DE LA REPRODUCCIÓN**

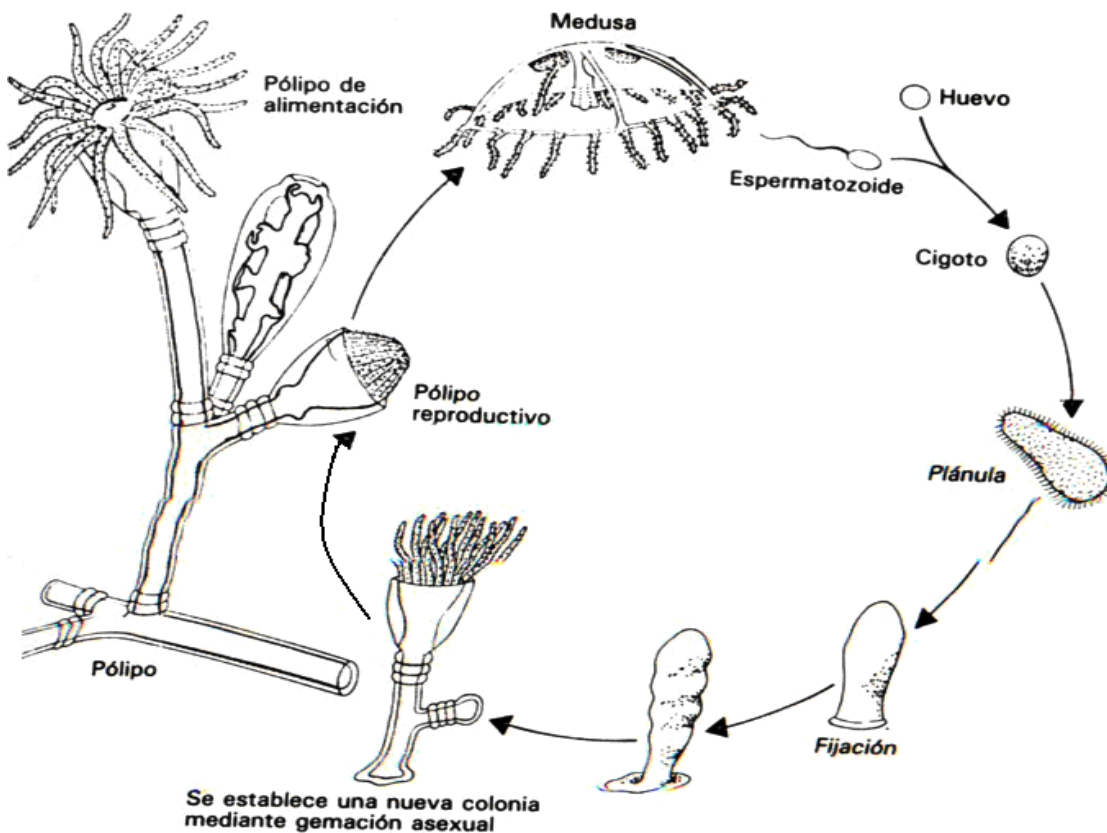
En numerosas especies el método reproductivo es muy particular y no encaja completamente dentro del patrón clásico, bien sea del sistema sexual o del asexual, por lo que suelen considerarse como una variante de la reproducción. Las variantes reproductivas más conocidas son: metagénesis, partenogénesis, poliembrionía y apomixis (Curtis y Barnes, 2000).

### **7.16.1 Metagénesis**



Se denomina metagénesis la condición presentada por las especies que se pueden reproducir tanto por la vía sexual como por la vía asexual. Es típica de animales que poseen fases inmóviles (o colonias) y fases móviles. Un ejemplo representativo de la metagénesis son los **cnidarios** que comprenden animales acuáticos y en su mayor parte marinos que se caracterizan por la variedad de formas extraordinarias y hermosas, todas consideradas variaciones de dos estructuras corporales básicas: el **pólipo** y la **medusa**. Ver figura 6.42

**El pólipo**, generalmente tubular, posee un apéndice con el que se sujeta al sustrato y tentáculos que se proyectan hacia arriba, y está adaptado a una vida sedentaria adhiriéndose a las rocas, en las que espera a sus presas como una flor depredadora. Por otro lado, la medusa o “aguamala” nada débilmente contrayendo su cuerpo en forma de campana y su principal medio de transporte son las corrientes marinas, arrastrando sus tentáculos como redes de pescar (Mader, 2008).



**Figura 6.42.** La metagénesis en Obelia, un celenterado (Cnidaria). La medusa es una forma de vida libre. El pólipo forma parte de una columna fija. Ambos son diploides. Tomado de Overmire.

Algunos pólipos y medusas producen por gemación (reproducción asexual) pequeñas replicas de sí mismas. La reproducción sexual comprende la fusión de espermatozoides y óvulos que se liberan en el agua o permanecen dentro del progenitor. El óvulo fecundado frecuentemente se desarrolla en una etapa larvaria ciliada librenatatoria que se estaciona y se convierte en un pólipo minúsculo.

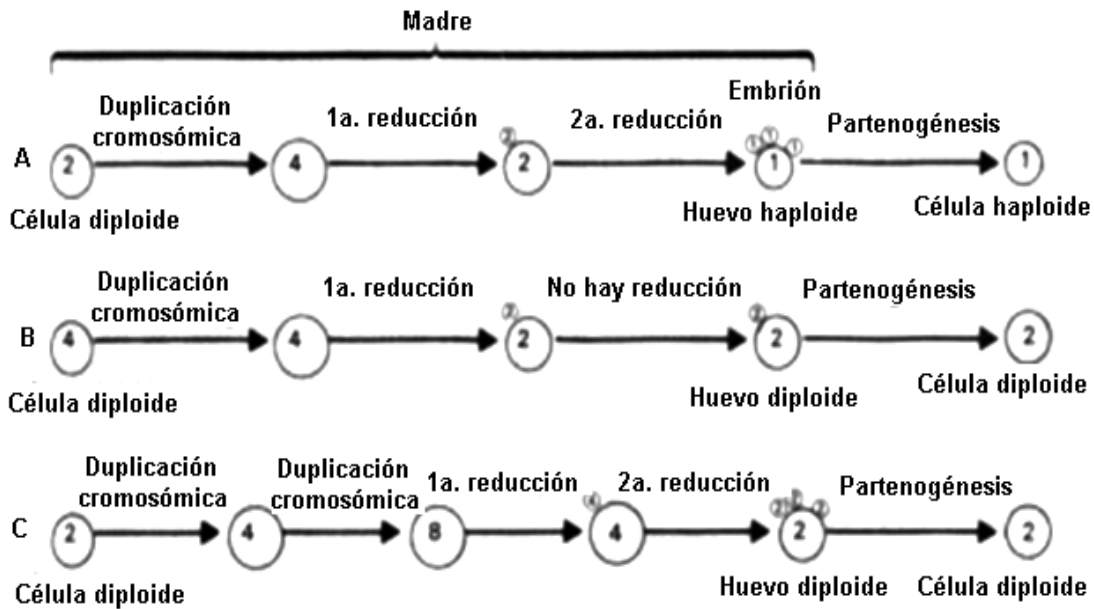
### 6.16.2. Partenogénesis

La partenogénesis es el tipo de reproducción en el que los óvulos se desarrollan sin ser fecundados y de esta forma el organismo puede llegar a la etapa adulta. En otros términos, las hembras originan descendencia sin ser fecundadas por los machos.

En la especie humana, la partenogénesis consiste en la producción de una masa celular denominada **partenote** a partir de un gameto femenino no fecundado. De este **partenote** se pueden aislar células madre embrionarias. Los óvulos de mamíferos pueden activarse artificialmente empleando métodos químicos o físicos "*in vitro*". Puede originar células haploides con solo un juego de cromosomas ( $n$ ) porque el gameto femenino de que deriva era de constitución cromosómica normal. O puede ser diploide ( $2n$ ) si se deriva de un gameto femenino "no reducido", es decir de constitución cromosómica diploide ( $2n$ ). Este puede darse también artificialmente mediante activación con compuestos que inhiben el segundo cuerpo polar. (Overmire, 2003).

En la mayoría de las especies, los óvulos no fecundados que envejecen "*in vivo*" o "*in vitro*" no se activan espontáneamente. Hay evidencia confirmada que los óvulos partenogénicos no llegan a desarrollarse a término como un embrión: no lo son de hecho. Un óvulo activado se distingue del verdadero cigoto principalmente porque carece de la impronta paterna del genoma. Sin embargo, las células partenogénicas son capaces de diferenciarse hacia células normales si se les sitúa en el entorno adecuado: formando parte de un híbrido al agregarlas a un blastocito en desarrollo.





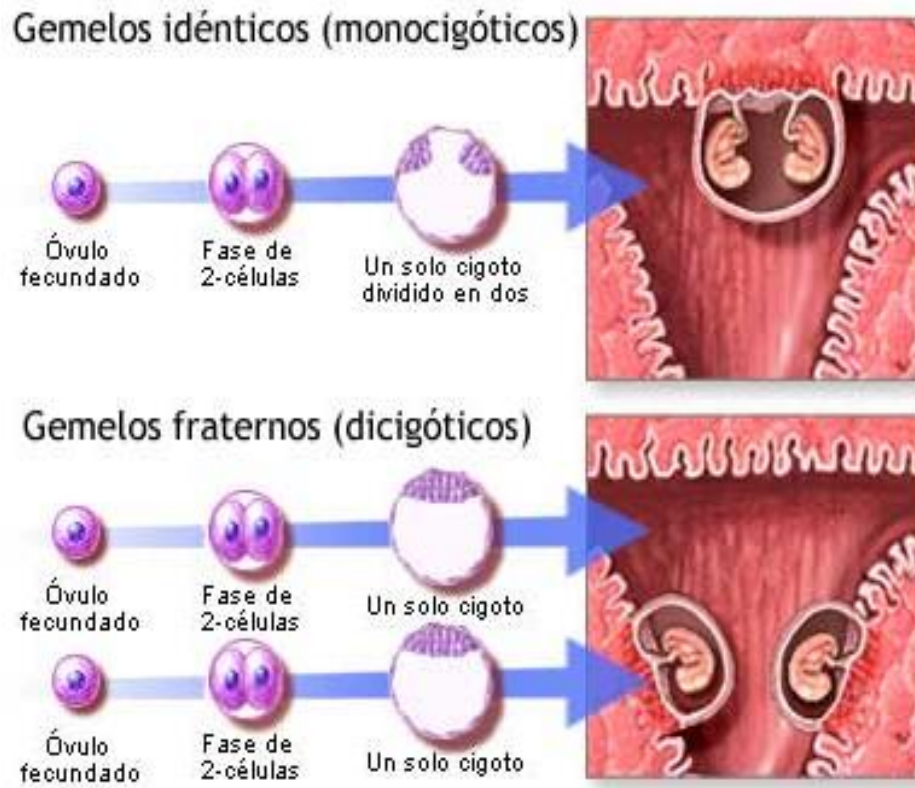
**Figura 6.43** Tipos de partenogénesis. El desarrollo de óvulos no fecundados o partenogénesis, puede ocurrir al mínimo en tres formas : a) El embrión se desarrolla a partir de un ovulo haploide, como en los zánganos de las abejas. b) La fase de división reducción en la meiosis se inhibe, lo que produce un gameto diploide como en los áfidos. Y c) la fase de la duplicación en la meiosis puede ocurrir dos veces y no solo una dando como resultado gametos diploides como ocurre en algunos tipos de lagartijas. (Los círculos pequeños del esquema corresponden a cuerpos polares). Tomado de Overmire

La técnica de partenogénesis como alternativa a la llamada clonación terapéutica, podría proporcionar células madre embrionarias de mujeres premenopáusicas. ahora bien, el hecho de tener dotación genética de dos juegos de cromosomas iguales hace que la variabilidad en las proteínas de membrana sea escasa y por tanto menor el posible rechazo inmune. Se plantea ya la creación de un banco de células madre embrionarias individuales y específicas para cada paciente a tratar.

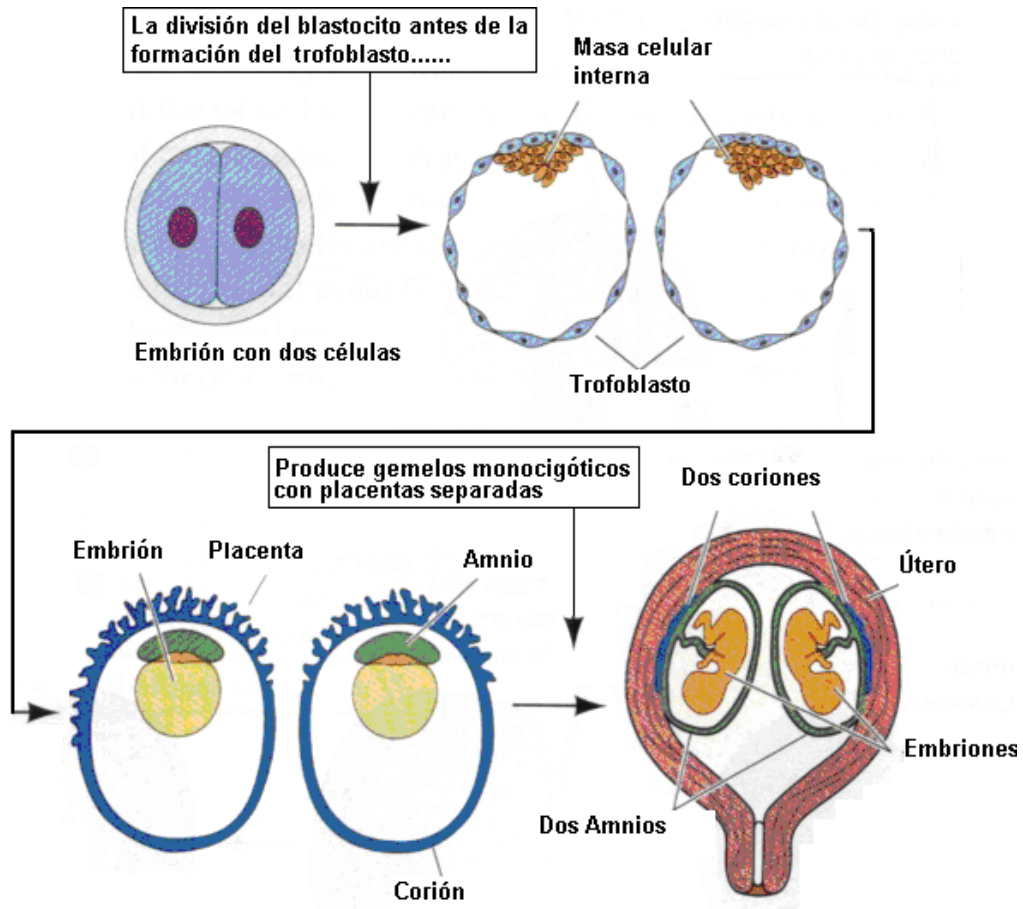
### 6.16.3. Poliembrionía.

Literalmente el término poliembrionía significa numerosos embriones y hace referencia a la formación de varios embriones a partir de un cigoto único u óvulo fecundado. La poliembrionía se puede presentar tanto en animales como en vegetales. En animales, el caso más conocido de poliembrionia ocurre en los armadillos o cachicamos (*Dasybus*

*novemcinctatus*) cuyas hembras paren varias crías todas del mismo sexo, compartiendo una placenta común y procedentes todas ellas de un óvulo único. El fenómeno se debe a una escisión repetida de un embrión único inicial en una fase temprana del desarrollo. En la especie humana se produce una variante de la reproducción como es la formación de gemelos idénticos monocigóticos. Ver figura 6.44.



**Figura 6.44.** Esquema que compara la formación de los gemelos idénticos y los gemelos fraternos.



**Figura 6.45** Gemelos humanos. Los gemelos monocigóticos o idénticos se presentan cuando grupos de células de la blástula se separan físicamente y cada grupo forma un embrión diferente. Tomado de Purves.

En el desarrollo embrionario y en la fase temprana de blástula, si los blastómeros están físicamente separados en dos grupos, cada uno de ellos puede desarrollar su propio embrión. Aun cuando los dos embriones provienen del mismo cigoto, ellos serán gemelos idénticos genéticamente. Los gemelos fraternos (mellizos) se presentan cuando dos o más óvulos independientes son fecundados por sendos espermatozoides. Así, mientras los gemelos idénticos son siempre del mismo sexo, los gemelos fraternos tienen un 50% de probabilidad de ser el mismo sexo (Starr y Taggart, 2004).

### **PALABRAS CLAVES**

Mitosis	Totipotencialidad
Meiosis	Injerto
Haploide	Clon
Diploide	Espermatogonio
Sinapsis	Poliembrionía
Entrecruzamiento	Homólogo
Necrosis	Oogonio u Ovocito
Citocinesis	Mutagénesis
Cariotipo	Ciclo estral o estro
Cromátida	Hermafrodita
Apomixis	Ciclo menstrual
Apoptosis	Partenogénesis

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- ANDERSON, D. J. and M. W. HETZER. 2008. The life cycle of the metazoan nuclear envelope. *Curr. Opin-cell Biol* 20: 1-7.
- AUDERSIK, Teresa y Gerald AUDERSIK. 2006. *Biología. La vida en la tierra.* 4a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- BLAGDEN, S. P and D. M. GLOVER. 2003. Polar expedition-provisioning the centrosome for mitosis *Nature Cell Biol* 5: 505-511.
- BLOOM J. and F. R. CROSS. 2007. Multiple levels of cyclin specificity in cell-cycle control. *Nature Rev. Mol. Cell Biol* 8: 149-159.
- BRANCO, M. R and A. POMBO. 2007. Chromosome organization: new facts, new models. *Trends Cell Biol.* 17: 127-134.

- COOPER, Geoffrey M. y R. E. HAUSMAN 2011. La célula. 5ª ed. Madrid: Marbán.
- CURTIS, Helena et al. 2000. Biología. 6ª ed. Madrid: Médica Panamericana.
- De ROBERTIS, Eduardo M.F y José H. De ROBERTIS. 2007. Fundamentos de biología celular y molecular De ROBERTIS. Buenos Aires: El Ateneo.
- DONOVAN P., Gearhart J. 2001. The end of the beginning for pluripotent stem cells. Nature 414: 92-97.
- EL TIEMPO. Mar 11-2010. Médico en casa.
- EHRLICH, Paul R. et al. 2004. Introducción a la biología. Bogotá: Mc Graw- Hill.
- FRASER, J.F.D. 1999. Los ciclos sexuales de los vertebrados. Barcelona: Labor S.A.
- GADDE, S. and R. HEALD. 2004. Mechanisms and molecules of the mitotic spindle. Curr. Biol. 14: R 797- R 805.
- GLOTSER, M. 2005. The molecular requirements for cytokinesis. Science 307: 1735-1739.
- GOLDMAN, Y. et al. 2002. Nuclear lamins: building blocks of nuclear architecture. Genes Dev. 16: 533-547.
- IZCO, Jesús et al. 2004. Botánica 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana: Madrid
- JUNQUEIRA, Luiz C. y José CARNEIRO. 1998. Biología celular y molecular. 6a ed. Santiago: Mc Graw-Hill Interamericana.
- JURGENS, G. 2005. Plant cytokinesis: Fission by fusion. Trends Cell Biol. 15: 277-283.
- KARP, Gerald. 2011. Biología celular y molecular 6ª ed. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- KENNEDY, B. K. et al. 2000. Nuclear organization of DNA replication in primary mammalian cells. Genes Dev. 14: 2855-2868.

- KLINE-SMITH, S. L. and C. E. WALCZAR. 2004. Mitotic spindle assembly and chromosome segregation. Refocusing on microtubule dynamics. *Mol. Cell* 15: 317-327.
- MADER, Sylvia. 2008. *Biología*. 9ª ed. McGraw-Hill.México.
- MANUAL CTO DE MEDICINA Y CIRUGÍA. 2010. *Genética*. 6a ed. Madrid: C/Nuñez de Balboa
- MORGAN, D. O. 2007. *The Cell Cycle: Principles of control*. USA: Oxford Univ. Press.
- MURRAY, A. W. 2004. Recycling the cell cycle: Cyclins revisited. *Cell* 156: 221-234.
- NASON, Alvin. 2010. *Biología*. México: Limusa.
- NELSON, Gideón E. *et al.* 1998. *Conceptos fundamentales de Biología*. México: Limusa.
- NISHIKAWA, S. *et al.* 2008. The promise of human induced pluripotent stem cells for research and therapy. *Nat. Rev. Mol Cell Biol* 9: 725-729.
- NOMBELA, Cesar, 2007. *Células madre: encrucijadas biológicas para la medicina*. Madrid: Edaf. ISBN.
- OLUCHA, Francisco *et al.* 1995. *Curso de Biología COU* Madrid: Mc Graw-Hill.
- OVERMIRE, Thomas. G. 2003. *Biología*. México: Limusa.
- PAGE, S. J. and R. S. HAWLEY. 2003. Chromosome choreography: The meiotic ballet. *Science* 301: 785-789.
- PANIAGUA, Ricardo *et al.* 2011. *Biología celular*. 5ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- PAWLOWSKI, W. P. and W. Z. CANDE. 2005. Coordinating the events of the meiotic prophase. *Trends Cell Biol.* 15: 674-681.
- PETRONCZKI, M *et al.* 2003. Un ménage a quatre: The molecular biology of chromosome segregation in meiosis. *Cell* 112: 423-440.

- PURVES, Willian R et al, 2001. Life. The science of Biology. 6 th ed. USA: Sinauer Associates.
- RIEDER, C. L. and A. KHODJAKOV. 2003. Mitosis through the microscope: Advances in seeing in side live dividing cells. Science 300: 91-96.
- RODRIGUEZ-PARDO, Viviana Marcela. 2005. Células madre: conceptos generales y perspectivas de investigación. Universitas Scientiarum. Bogotá. Universidad Javeriana. Vol 10. No 1, 5-14.
- SCHOLEY J. M et al. 2003. Cell division. Nature 422: 746-752.
- SOLOMON, Eldra Pearl *et al.* 2011. Biología de Villée. 8a ed. México: Interamericana McGraw-Hill.
- STARR, Cecie y TAGGART T, Ralf.2004. Biología 10 ed. Interamericana McGraw-Hill. México.
- SULLIVAN, M and D. O. MORGAN. 2007. Finishing mitosis, one step at a time. Nature Rev. Mol. Cell Biol. 8: 894-903.
- VAIDYANATH, K. et al, 2009. Introduction to biology and biotechnology. 2n ed. Hyderabad, India.
- VILLANUEVA, Julio R. 1990. La célula viva. Scientif American. Madrid: Blume.
- WAGERS A. J. and I.L. WEISSMAN 2004. Plasticity of adult stem cells. Cells. Cell 116: 639-648.
- WEISSMAN I. L., Anderson D. J., Gage F. 2001. Stem and progenitor cells: Origins, phenotypes, Lincage commitments and transdifferentiations. Annu Rev. Cell Dev Biol. 17: 387-403.





## PRINCIPIOS DE GENÉTICA

---

### INTRODUCCIÓN

Por cuanto los procesos genéticos son esenciales para la comprensión de la vida misma, numerosos científicos piensan que la disciplina de la genética se asienta en el centro de la biología. La información genética dirige la función celular, determina en gran medida la apariencia externa de los organismos y sirve de unión entre generaciones en todas las especies.

En sí mismo, el conocimiento genético es esencial para la comprensión completa de otras disciplinas, como la biología molecular, la biología celular, fisiología, evolución, ecología, sistemática y etología. Por consiguiente, la genética unifica la biología y constituye su centro. Así, no es sorprendente que la genética tenga una larga y rica historia. El punto de partida para esta historia es el jardín de un monasterio en la Europa central de la década de 1860.

En este jardín Gregor Mendel, un monje agustino, realizó durante una década una serie de experimentos utilizando la arveja (***Pisum sativum***). En su trabajo, Mendel demostró que los caracteres pasan de padres a hijos de una manera predecible. De su trabajo concluyó que los caracteres de las arvejas, como la altura de la planta y el color de la flor, están controlados por unidades hereditarias discretas que ahora se denominan **genes**. Además, concluyó que los genes que controlan un carácter están en parejas, y que los miembros de cada pareja se separan en la formación de los gametos. Su trabajo se publicó en 1866, pero fue en gran parte ignorado hasta que fue parcialmente reproducido y citado en artículos por Carl Correns y otros alrededor de 1900.

Habiéndose confirmado por otros, los hallazgos de Mendel se reconocieron como la base de la transmisión de los caracteres en la arveja y en todos los organismos superiores. Su trabajo constituye el fundamento de la genética, que se define como la rama de la biología que trata del estudio de la herencia y la variación.

## 7.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Investigaciones rigurosas efectuadas por arqueólogos sobre plantas cultivadas y animales domesticados demuestran que los hombres primitivos aprendieron que los caracteres deseables e indeseables pasaban de una generación a otra y que podían seleccionar las variedades o razas que mejor pudieran satisfacer sus necesidades básicas (alimento, albergue, protección).

En la edad de oro de la cultura griega surgieron varias ideas para explicar la herencia. La **escuela de Hipócrates** afirmaba que el semen masculino se formaba de muchas partes del cuerpo, mediante la acción de “humores activos” que eran portadores de los caracteres hereditarios y se transportan a través de los vasos sanguíneos hasta los testículos. Estos “humores” podían ser sanos o enfermos: estos últimos explicaban el nacimiento de infantes con anomalías congénitas o deformidades.

**Aristóteles** propuso que el semen masculino estaba formado por la sangre, en lugar del aporte individual de cada órgano, y que su poder generador residía en un “calor vital” propio. Cuando se descubrieron en el ser humano el espermatozoide (siglo XVII) y el óvulo (siglo XIX) se desató una gran controversia acerca de los mecanismos de la herencia. Los **preformistas** proponían que las células sexuales portaban un adulto completo en miniatura llamado el **homunculus**.

**Charles Darwin**, el padre de la teoría de la selección natural, propuso la hipótesis provisional de la **pangénesis** para explicar la herencia. Darwin se ideó el término **gémulas** (en lugar de humores) para designar las unidades físicas que representaban a las distintas partes del cuerpo y que se reunían en la sangre para dirigirse al semen; estas gémulas determinaban la naturaleza o la forma de cada parte del cuerpo y podían responder de un modo adaptativo al entorno del individuo. Una vez modificada, la gémula pasaría a los descendientes, permitiendo la **herencia de los caracteres adquiridos**, propuesta ya formulada por Jean Baptiste Lamarck en su tratado “Filosofía Zoológica” y que se conoce con el nombre de la **teoría del uso y desuso**.

En esencia esta teoría afirma que cuando un individuo adquiere o pierde ciertas características, esto se hereda. Es preciso resaltar que en la actualidad y dentro del léxico de la sociología popular, es generalmente aceptada la idea que los caracteres hereditarios están en la sangre. Se dice que los miembros de la realeza y los aristócratas son de “sangre azul”, mientras que los plebeyos poseen “mala sangre”. (Griffiths et al, 2000).

Las ideas formuladas por Darwin fueron controvertidas por su discípulo alemán **August Weismann** quien en su tratado “El germoplasma: una teoría sobre la herencia” propuso que los organismos multicelulares están constituidos por dos tipos de sustancias; el **somatoplasma** y el **germoplasma**. El primero forma los tejidos corporales, constituyendo la sustancia básica de un individuo que se desarrolla, crece y finalmente muere. Por otro lado, intuyó el germoplasma, constituido por células que producen gametos, y que posee la facultad de multiplicar al individuo.

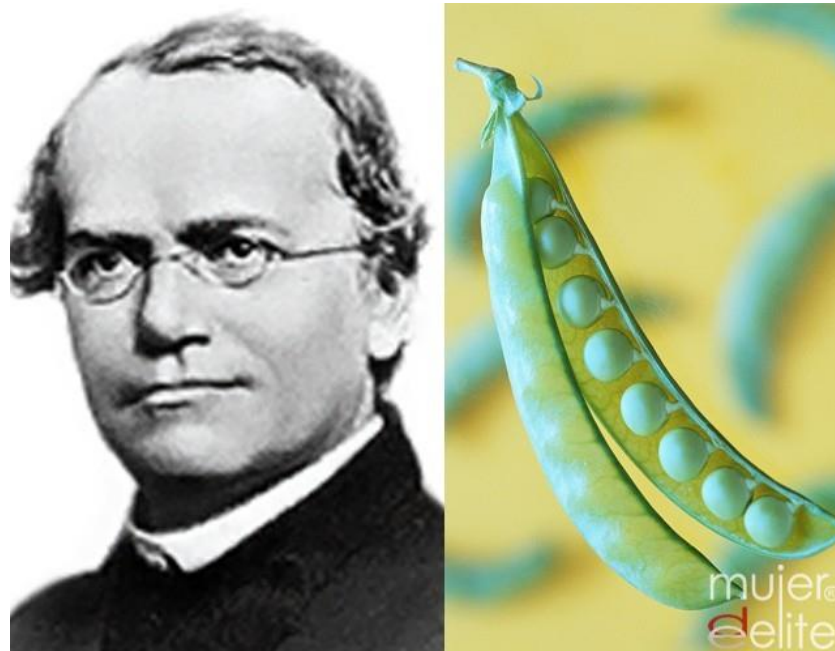
**Weismann** consideró el germoplasma inmortal, deduciendo la existencia de una cadena ininterrumpida de gametos y embriones que se remontaría hasta el comienzo de la vida. La conocida adivinanza, de qué fue primero, si la gallina o el huevo, dejó de ser una preocupación para Weismann. De acuerdo con su teoría, la gallina es simplemente un dispositivo del huevo que posibilita la postura de otro huevo. Las bases de la genética moderna fueron elaboradas por primera vez por el monje austriaco Gregor Johann Mendel, entre 1856 - 1863 y publicadas en 1866. (Ayala y Kiquer, 1984).

## **7.2. HERENCIA MENDELIANA**

La primera idea importante sobre el mecanismo involucrado en la transmisión de las características hereditarias fue expuesta por Mendel en 1866 cuando publicó los resultados de una serie de experimentos que sentaron las bases de la genética como disciplina formal.

Johann Mendel nació en 1822 en una familia de campesinos en el poblado de

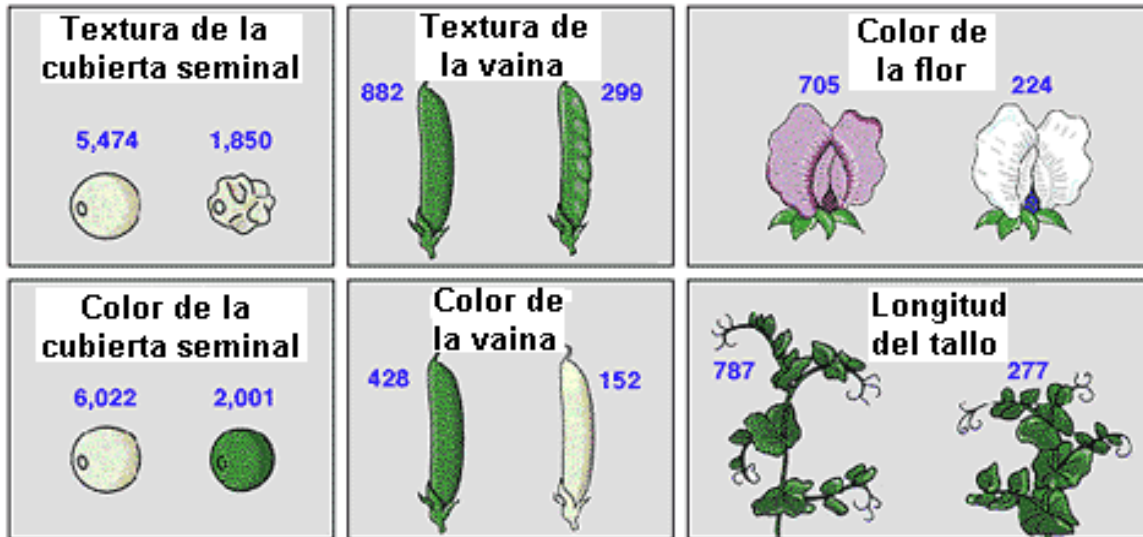
Heinzendorf, que ahora forma parte de la República Checa. En la escuela superior fue un estudiante sobresaliente; estudió filosofía durante varios años y fue admitido en el monasterio Agustino de Santo Tomás de Bruno, en 1843. Allí tomó el nombre de Gregor y recibió apoyo en sus investigaciones durante el resto de su vida. Ver Figura 7.1.



**Figura 7.1** Retrato de Gregor Mendel a quien se considera el padre de la genética. El hizo sus investigaciones con la arveja (*Pisum sativum*)

La genialidad de Mendel se reveló en el diseño experimental y en el análisis estadístico. Otros científicos habían realizado experimentos similares sobre reproducción de plantas pero habían trabajado simplemente con unos pocos individuos mientras intentaban indagar muchas características a la vez. Mendel, por el contrario, se concentró en una o dos características al mismo tiempo y repitió la misma experimentación sobre millares de plantas de arveja (*Pisum sativum*). Este científico excepcional estudió la herencia por medio del crecimiento de las plantas en lugar de examinar las células a través de un microscopio. (Karp, 2011).

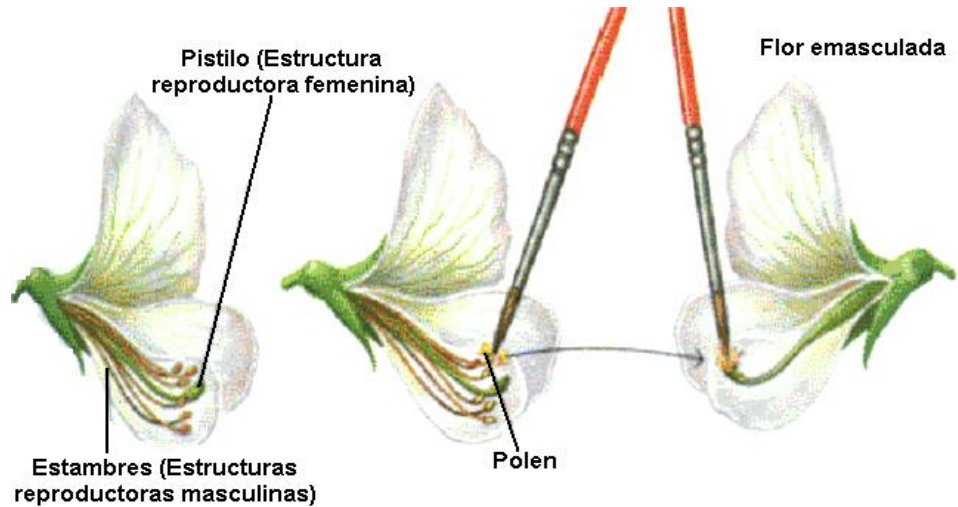
Mendel tenía un pequeño vivero en el monasterio y realizaba cruces experimentales con plantas de arveja. Seleccionó siete pares de características contrastantes: tres pares en las semillas, dos en las vainas y dos en los tallos. Las características contrastantes se presentan en la Figura 7.2.



**Figura 7.2:** Características morfológicas de la arveja estudiadas por Mendel.

La estructura de la flor (Ver Figura 7.3) de la planta de arveja resultó favorable para los cruces experimentales de Mendel por cuanto la flor es hermafrodita o bisexual, es decir, posee las estructuras reproductoras masculinas llamadas estambres (androceo) y la estructura reproductora femenina denominada pistilo (gineceo).

Las plantas de arveja se reproducen sexualmente. El polen que se forma en las anteras de los estambres contienen los gametos masculinos mientras que los gametos femeninos se forman dentro del pistilo. Mediante el proceso denominado polinización, los granos de polen se desplazan desde las anteras hasta el estigma del pistilo. La polinización de las plantas puede ser cruzada (**alógama**) o directa (**autógama**). En la primera el polen que se forma en la flor de una planta se transporta al pistilo de la flor de otra planta de la misma especie (Alexander *et al*, 1992).



**Figura 7.3:** Esquema de la flor de arveja y polinización artificial de la misma.

En la segunda, el transporte del polen ocurre dentro de la misma flor, o entre flores de la misma planta. La mayor parte de las antofitas (plantas con flores) tienen polinización cruzada, por acción del viento o de los insectos. En la flor de la arveja los estambres y el pistilo están dentro de unos pétalos cerrados, disposición que impide, generalmente, la polinización cruzada, favoreciendo la autopolinización. Esta característica fue relevante para los cruces experimentales de Mendel; aún cuando las flores de la arveja se pueden polinizar artificialmente en forma cruzada, los pétalos cerrados evitan que el polen de otras flores de la arveja afecten los resultados experimentales.

Mendel inició sus experimentos al seleccionar un número de tipos o líneas de plantas que eran **puras** para cada uno de los siete pares de características mencionadas. Mendel escogió estas características porque cada una de ellas tiene formas con un contraste marcado entre sí. Por ejemplo, la longitud de los tallos era larga o corta, la forma de las vainas podía ser lisa o arrugada y así sucesivamente. (Curtis y Barnes, 2000).

Una **línea pura** es un grupo de individuos que genera descendencia con una única forma de la característica dada en cada generación. Por ejemplo, un cultivar de arvejas que era puro para el color gris de la cubierta de la semilla, produciría únicamente arvejas con la cubierta gris, generación tras generación, otro cultivar puro con cubierta blanca produciría solamente semillas con cubierta blanca en cada generación. Al permitir que las plantas de arveja se autopolinizarán durante varias generaciones, Mendel produjo siete pares de líneas puras.

### 7.3. CRUCE MONOIBRIDO.

Después de establecer líneas puras, Mendel hizo cientos de cruces, transportando el polen desde los estambres de plantas que tenían una característica hasta los pistilos de las plantas que tenían la característica contrastante.

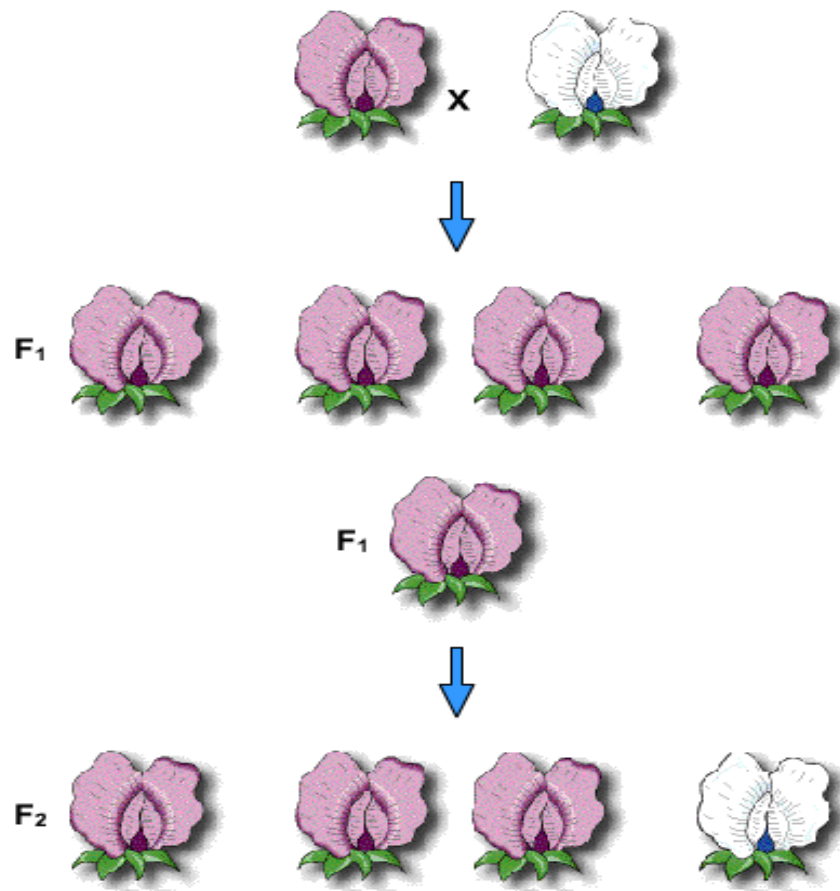
En un primer grupo experimental, Mendel cruzó plantas que tenían tallos largos con plantas de tallos cortos. Las plantas puras que usó para hacer estos cruces se consideran la generación progenitora.

**La generación progenitora o  $P_1$**  es un grupo de organismos utilizados para hacer el primero de una serie de cruces experimentales. Al germinar las semillas y desarrollarse las nuevas plantas de arveja, Mendel examinó su apariencia. Todas las plantas presentaban tallos largos. Igualmente encontró que los resultados del cruce eran iguales si el polen de una planta de tallo largo se colocaba en el pistilo de una planta de tallo corto, o si una planta de tallo corto polinizaba una planta de tallo largo. En la progenie, solo había plantas con tallo largo. Las plantas de arveja de tallo largo que resultaron del cruce experimental de Mendel eran individuos de la primera generación. La progenie o descendencia de un cruce progenitor se llama **primera generación filial o  $F_1$** . Ver Figura 7.4.

Todas las plantas de tallo largo de la  $F_1$  son híbridas. Un **híbrido** es un hijo de dos progenitores que difieren en una o más características heredadas. Cuando Mendel cruzó una línea pura de plantas con tallos largos con una línea pura de plantas con tallos cortos, llevó a cabo un **cruce monohíbrido**. Un cruce monohíbrido es el que comprende un par de características contrastantes. En la figura 9.3 se ilustran los cruces progenitores de Mendel. Nótese que en todos los casos los individuos de la  $F_1$  se parecen solo a uno de los progenitores. Mendel no pudo sacar conclusiones hasta que siguió estas características en la siguiente generación.

En su segundo grupo de experimentos, Mendel permitió que las plantas de la  $F_1$  se autopolinizarán con lo cual obtuvo la **segunda generación filial o  $F_2$** . Mendel encontró que numerosas plantas de arveja de la  $F_2$  tenían tallo largo y otras plantas de la  $F_2$  tenían tallo corto. La característica que no se manifestó en la  $F_1$  reapareció en la  $F_2$ . La Tabla 10.1 presenta los resultados de los siete cruces monohíbridos efectuados por Mendel. En la columna  $F_2$  se observa que cada característica que no se manifestó en la  $F_1$ , volvió a aparecer en la  $F_2$ . En la columna "Razón de  $F_2$ " se presenta en forma de razón

matemática los números de plantas que se obtuvieron para cada característica contrastante. (Purves et al, 2001).



**Figura 7.4:** Resultado de uno de los cruces monohíbridos de Mendel. (Tomado de Starr y Taggart, 2004).

**Una razón** es una expresión matemática que muestra la relación que hay entre dos o más números. En el cruce entre las plantas  $F_1$  de semillas con cubierta gris, la razón de plantas  $F_2$  de semillas con cubierta gris a plantas de semillas con cubierta blanca, se expresa así:

$$\frac{705 \text{ plantas con semillas de cubierta gris}}{225 \text{ plantas con semillas de cubierta blanca}} = 3.1$$



Si se aproxima el 3,1 a 3, la razón se expresa como 3:1. En cada una de las generaciones  $F_2$  cerca de los  $\frac{3}{4}$  de los individuos son iguales al progenitor de la  $F_1$ . El otro cuarto ( $\frac{1}{4}$ ) posee la característica ausente de la  $F_1$ . ¿Cuál es la explicación para que estas características aparezcan en la  $F_2$  en la razón 3:1?

(Klug, 2006)

Característica	Generación F1	Generación F2	Razón de F2	Razón aprox.
Color de la cubierta seminal	Todas amarillas	6022 amarillas: 2001 verdes	3.00:1	3:1
Textura de la cubierta seminal	Todas lisas	5474 lisas: 1850 arrugadas	2.96:1	3:1
Color de la flor	Todas púrpura	705 púrpura: 224 blancas	3.14:1	3:1
Longitud de los tallos	Todos largos	787 largos: 277 cortos	2.84:1	3:1
Ubicación de las flores	Todas axiales	651 axiales: 207 terminales	3.14:1	3:1
Color de la vaina	Todas verdes	428 verdes: 152 amarillas	2.81:1	3:1
Textura de la vaina	Todas lisas	882 lisas: 229 arrugadas	2.95:1	3:1

**Tabla 7.1:** Resultados de los cruces monohíbridos en *Pisum sativum* realizados por Mendel. (Tomado de Starr y Taggart, 2004).

#### 7.4. LOS PRINCIPIOS DE MENDEL.

Es evidente que cuando se cruzan arvejas de cubierta gris con arvejas de cubierta blanca,

las primeras transmiten algún factor de control a la descendencia o  $F_1$ . Además, no interesa que el factor que condiciona las semillas de cubierta gris provenga del gameto masculino o del gameto femenino, los resultados son los mismos en cualquiera de los dos casos (Solomon *et al*, 2011).

La reaparición de las semillas con cubierta blanca en la generación  $F_2$  se explica solamente al suponer que al menos algunas de las plantas  $F_1$  portaban también el factor determinante de la condición semillas con cubierta blanca. Sin embargo, su presencia en la  $F_1$  se hallaba enmascarada. Mendel llamó **dominantes** a los rasgos que eran transmitidos sin modificación a la  $F_1$  (por ejemplo, semillas con cubierta gris) y **recesivos** a aquellos rasgos o características que se hallaban ocultos en la generación  $F_1$  pero que reaparecían en la  $F_2$  (por ejemplo, semillas con cubierta blanca).

Para explicar los resultados obtenidos en sus experimentos, Mendel formuló una serie de **hipótesis**. No se trataba de observaciones ni de hechos. Se trataba sencillamente de afirmaciones que, de ser verdaderas, proporcionarían una explicación racional de los resultados obtenidos. Mendel propuso la existencia de **factores discretos** para cada carácter.

Sugirió que esos factores eran las unidades básicas de la herencia, que pasaban sin cambio de generación en generación, determinando los distintos caracteres que expresa cada planta. Utilizando estos conceptos básicos, Mendel emitió hipótesis precisas de cómo tales factores podían explicar los resultados de los cruces monohíbridos. Tales hipótesis fueron posteriormente confirmadas en principios.

**Primer principio. Los factores están en pares.** “Los caracteres hereditarios están controlados por **factores** que se encuentran en pares en cada organismo”. En el cruce monohíbrido entre plantas de tallo largo y plantas de tallo corto, cada carácter tiene un factor particular. Debido a que los factores están en pares, son posibles tres combinaciones: dos factores para tallos largos y un factor para tallos cortos. Cada una de estas tres combinaciones es la que determina la longitud del tallo. Hoy en día a esos factores mendelianos los biólogos los denominan **genes** y se consideran segmentos del ADN, que se encuentran en los cromosomas. Los cromosomas y sus genes se transmiten de los progenitores a la descendencia por medio de los gametos. (Solomon *et al*, 2011).

**Segundo principio o de la dominancia y recesividad.** “Cuando dos factores distintos, responsables de un carácter dado, se encuentran en un individuo, uno de los factores domina sobre el otro, que se denomina recesivo.”

En cada cruce monohíbrido, el carácter que se expresa en la generación  $F_1$  es consecuencia de la presencia del factor dominante. El carácter que no se expresa en  $F_1$  pero que reaparece en  $F_2$  se encuentra bajo la influencia genética del factor recesivo.

El individuo obtiene los dos factores de sus progenitores, un factor por cada progenitor, el cual se transmite como una unidad discreta inmodificable. Es decir, las plantas con tallo largo de la  $F_2$  no son más largas que aquellas de la generación  $F_1$ , aunque los factores que controlan esta característica hayan pasado a través de la generación de plantas con tallo largo o  $F_1$ . Nótese que esta relación de dominancia-recesividad solo se manifiesta cuando se encuentran juntos en el mismo individuo factores diferentes. Los términos **dominante** y **recesivo** también se utilizan para designar a los caracteres. En el caso anterior, el carácter tallo alto es dominante y el carácter tallo corto es recesivo.

**Tercer principio o de la segregación.** “En la formación de los gametos, los factores en pares se separan o segregan al azar, de tal manera que cada gameto recibe uno u otro con igual probabilidad”. Si un individuo tiene un par de factores iguales (por ejemplo, ambos que especifiquen tallo alto) entonces todos los gametos reciben un factor para tallo alto. Si un individuo tiene factores distintos (por ejemplo, uno para tallo alto y otro para tallo corto) entonces cada gameto tiene un 50% de probabilidad de recibir un factor para alto o un factor para corto. (Barnum, 2005).

## 7.5. SIMBOLISMO Y TERMINOLOGÍA GENÉTICA ACTUAL.

Mendel estableció la práctica de usar letras para representar los pares de genes que controlan las características hereditarias. Como ejemplo de esta práctica se toma el cruce entre plantas de arveja con vainas lisas y las de vainas arrugadas. El gen para vainas lisas puede representarse con la letra mayúscula (**L**) y el gen para vainas arrugadas con la minúscula de la misma letra (**l**). Si los genes están en pares cada planta de arveja debe tener **dos genes** para determinar la forma de las vainas.

Sin embargo, los genes de un par pueden ser iguales (**LL ó ll**) o diferentes (**Ll**). Un individuo en el cual los dos genes para una característica dada son iguales, es **homocigoto** con respecto a **ese** rasgo. Una planta de arveja con vainas lisas (**LL**) es homocigota dominante y una planta con vainas arrugadas (**ll**) es homocigota recesiva. Un individuo en el cual los dos genes para una característica dada son diferentes es **heterocigoto**. Una planta de arveja que es heterocigota para la forma de la vaina se representa (**Ll**).

De acuerdo con la terminología actual, se dice que cada una de las plantas,  $P_1$  es

homocigota con respecto a una característica dada. En el momento de formarse los gametos, los genes se separan. Puesto que en este caso los genes de cada planta son iguales, todos los gametos producidos por cada planta son también iguales. Cualquier núcleo espermático del grano de polen o cualquier óvulo de la planta que produce vainas lisas, poseerá el gen **L**. Así mismo, cualquier gameto producido por la planta con vainas arrugadas llevará el gen **I** (Stanfield, 2001).

Los cigotos formados mediante apareamiento de estos cultivares serán de un solo tipo y contendrán los dos genes; o sea **LI**. Todas las células de la planta  $F_1$  llevarán así mismo los dos genes, es decir, serán plantas **heterocigotas**. Actualmente se usa el término **alelo** para describir las formas alternativas de un gen que controlan la presencia de una característica dada. Por ejemplo, hay dos alelos (plantas con vainas lisas y plantas con vainas arrugadas) del gen que controla el tipo de legumbre o vaina.

A raíz del descubrimiento del entrecruzamiento de los cromosomas homólogos durante la meiosis se evidenció que los genes están ubicados en los cromosomas en sitios específicos. El lugar que ocupan los genes en los cromosomas se denomina **locus** (**loci** en plural) y por consiguiente los alelos de un mismo gen deben ocupar un mismo locus en los cromosomas homólogos. (Ver Figura 10.5).

De acuerdo con la propuesta de Mendel, todas las plantas  $F_1$  serán de vainas lisas, por cuanto en condición heterocigota al alelo **L** se expresa y excluye totalmente al alelo **I**. En otros términos, **L** es **dominante** sobre **I**. El llamado **cuadrado de Punnett** describe en detalle este cruzamiento.

Cuando las plantas  $F_1$  forman gametos, los alelos se vuelven a separar y a cada gameto se transmite tan solo un alelo. Esto significa que la mitad del número total de gametos formados poseerá el alelo **L** y la otra mitad el alelo **I**.

Cuando estos gametos se unen al azar, aproximadamente la mitad de los cigotos serán heterocigotos, 1/4 homocigotos dominantes y 1/4 homocigotos recesivos. En esta forma, sería probables tres diferentes combinaciones (**LL**, **LI**, **II**) y la relación hipotética será 1: 2: 1. Sin embargo, debido a la dominancia del **L** sobre **I**, no habrá forma de distinguir exteriormente las plantas que tengan los alelos **LL** de aquellas que contengan los alelos **LI**. Tanto las unas como las otras tendrán vainas lisas, es decir, tienen el mismo **fenotipo**.

El fenotipo de un individuo es la expresión física de su o sus genes, los aspectos anatómicos, fisiológicos o de comportamiento que pueden observarse. Aún cuando las plantas con los alelos **LL** y **LI** tienen el mismo fenotipo (vainas lisas) poseen diferente

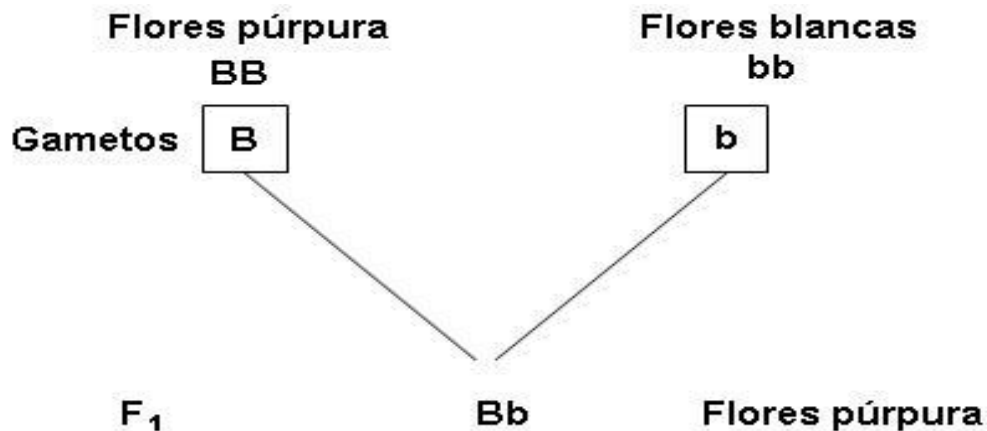
**genotipo** o sea un contenido genético diferente para ese mismo rasgo. Por consiguiente, el término **genotipo** puede referirse al juego específico de genes que contribuyen a un rasgo particular, tal como la longitud del tallo de la arveja, o a todos los genes del individuo. En sentido estricto, el genotipo hace referencia a los **segmentos** de ADN que expresan una característica; el **genoma** se refiere a **todo** el ADN independientemente de si éste se expresa o no en características. (Ayala y Kiger, 2004).

**El cruce de prueba.** Como un genotipo homocigoto dominante (**NN**) tiene el mismo fenotipo que el heterocigoto (**Nn**) es necesario realizar un **cruce de prueba** para distinguirlos. El procedimiento consiste en cruzar el individuo de fenotipo dominante, pero de genotipo incierto, con un individuo homocigoto recesivo.

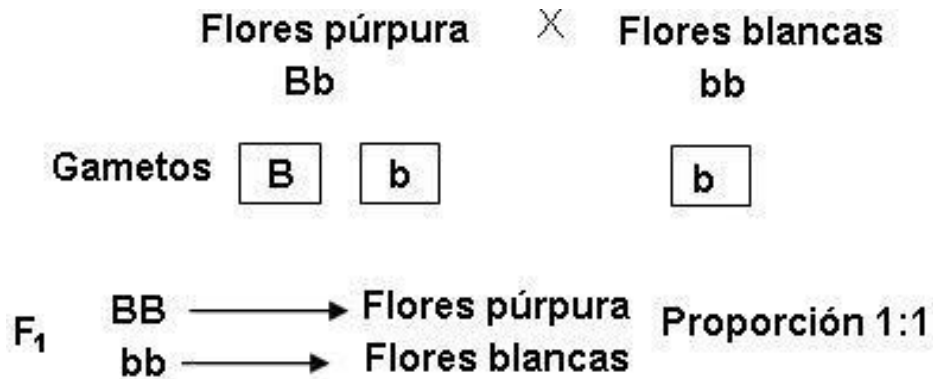
El propósito del cruce de prueba es descubrir cuantas clases de gametos diferentes produce un individuo cuyo genotipo es desconocido. Un individuo homocigoto dominante producirá solo una clase de gametos mientras que un individuo heterocigoto genera dos tipos de gametos con igual proporción. Ver Figura 10.4.

Ejemplo: En arveja, el color púrpura de la flor (**B**) es dominante sobre el color blanco (**b**). Entre las plantas de flores púrpura ¿Cuáles son homocigotas (**BB**) y cuáles son heterocigotas (**Bb**)? Para buscar la solución se realiza el cruce de prueba. En este caso se cruzan las plantas de flores púrpura con plantas de flores blancas.

**Posibilidad 1.** Si la planta de flores púrpura es homocigota toda su descendencia  $F_1$  será de flores púrpura.

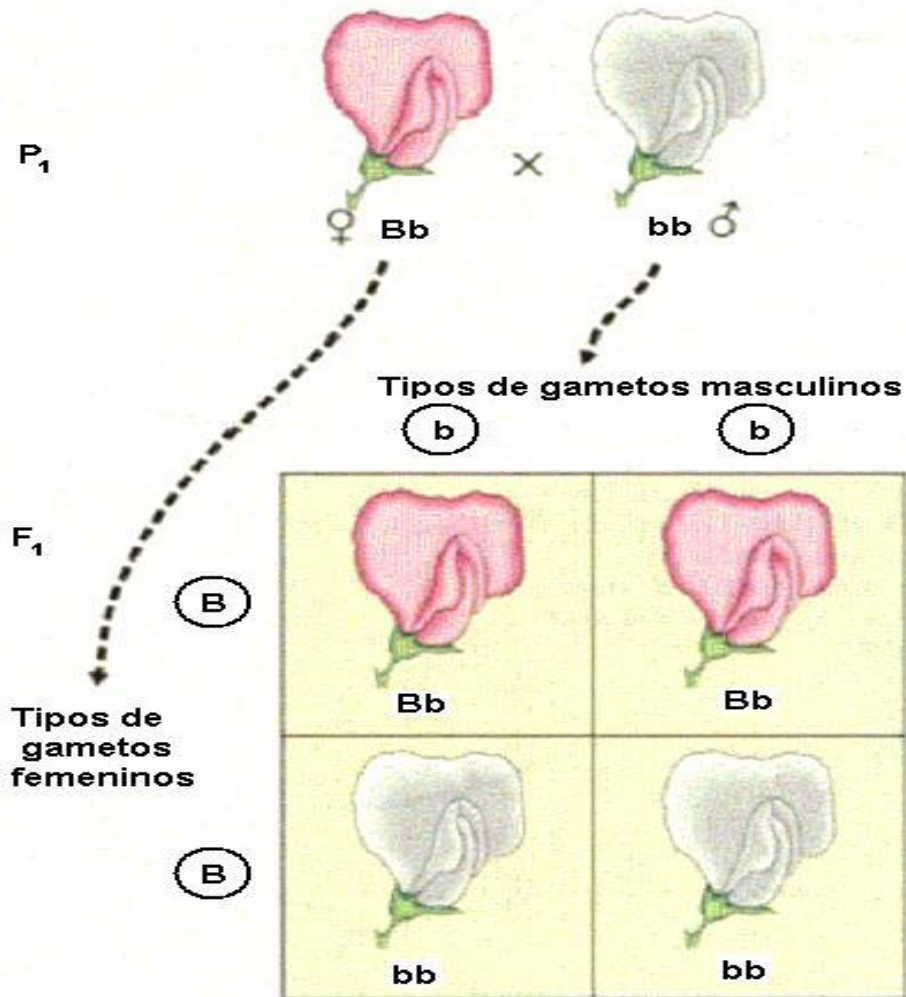


**Posibilidad 2.** Si la planta de flores púrpura es heterocigota, la descendencia será mitad con flores púrpura y la mitad con flores blancas.



El cruce de prueba tiene frecuente aplicación en la cría comercial de ganado (vacuno, caballar, caprino) cuando el criador pretende establecer una **línea** de animales que reproduzca fielmente una característica determinada.

Dos toros de raza Holstein, por ejemplo, pueden tener un fenotipo similar en cuanto a salud y vigor, y sin embargo, uno de ellos engendra hijas cuya producción de leche es superior a las hijas del otro toro. Para seleccionar los mejores toros los criadores proceden a realizar cruces de prueba y observar la descendencia; si la prole resulta superior en cuanto al carácter deseado los toros reproductores continuaran utilizándose con regularidad para la cría (Mader, 2008).



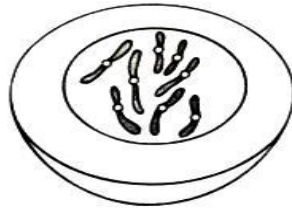
**Figura 7.5:** Cruce de prueba. Para indagar si una flor púrpura de arveja es homocigota dominante o heterocigota se cruza con una flor blanca (homocigota recesiva). Si en la descendencia todas las plantas tienen flores púrpura, la planta en estudio es homocigota dominante. Si la descendencia es 50% con flores púrpura y 50% con flores blancas, la planta en estudio es heterocigótica.

## 7.6. CRUCE DIHÍBRIDO.

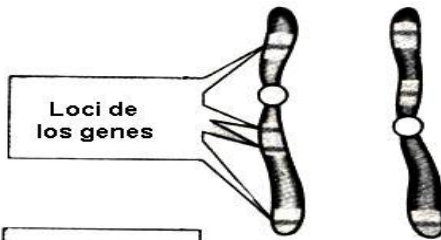
Mendel estudió también la herencia de dos características a la vez. Comenzó produciendo plantas que eran puras en dos características. Por ejemplo, mediante la autopolinización desarrolló plantas que eran puras, tanto para la forma redonda de la semilla como para el color amarillo de ella. También desarrolló plantas que eran homocigotas recesivas para la semilla arrugada y para el color verde de la semilla.

Después, Mendel cruzó plantas que eran puras, tanto para la forma como para el color de la semilla. Como el experimento implica el estudio simultáneo de dos características, tal

cruce se denomina **cruce dihíbrido**.



Cada célula diploide tiene dos juegos de cromosomas, el número  $2n$ . Los miembros de un juego pueden aparearse con los miembros de otro juego.



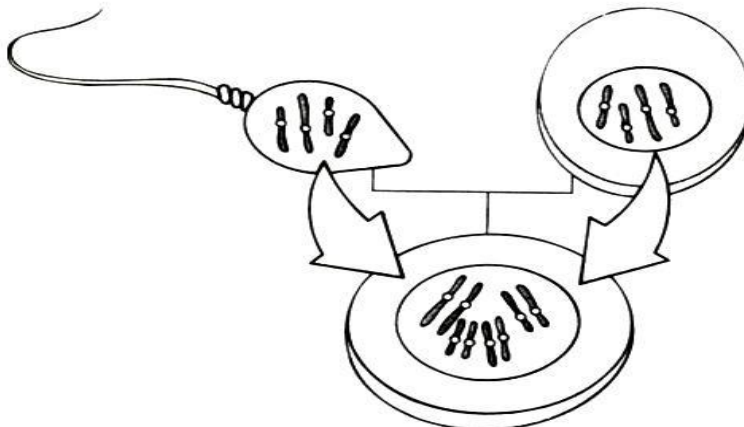
Los loci son los lugares que ocupan los genes en el cromosoma.



Si los genes ocupan el mismo lugar en cada cromosoma de un par, se dice que son alelos.



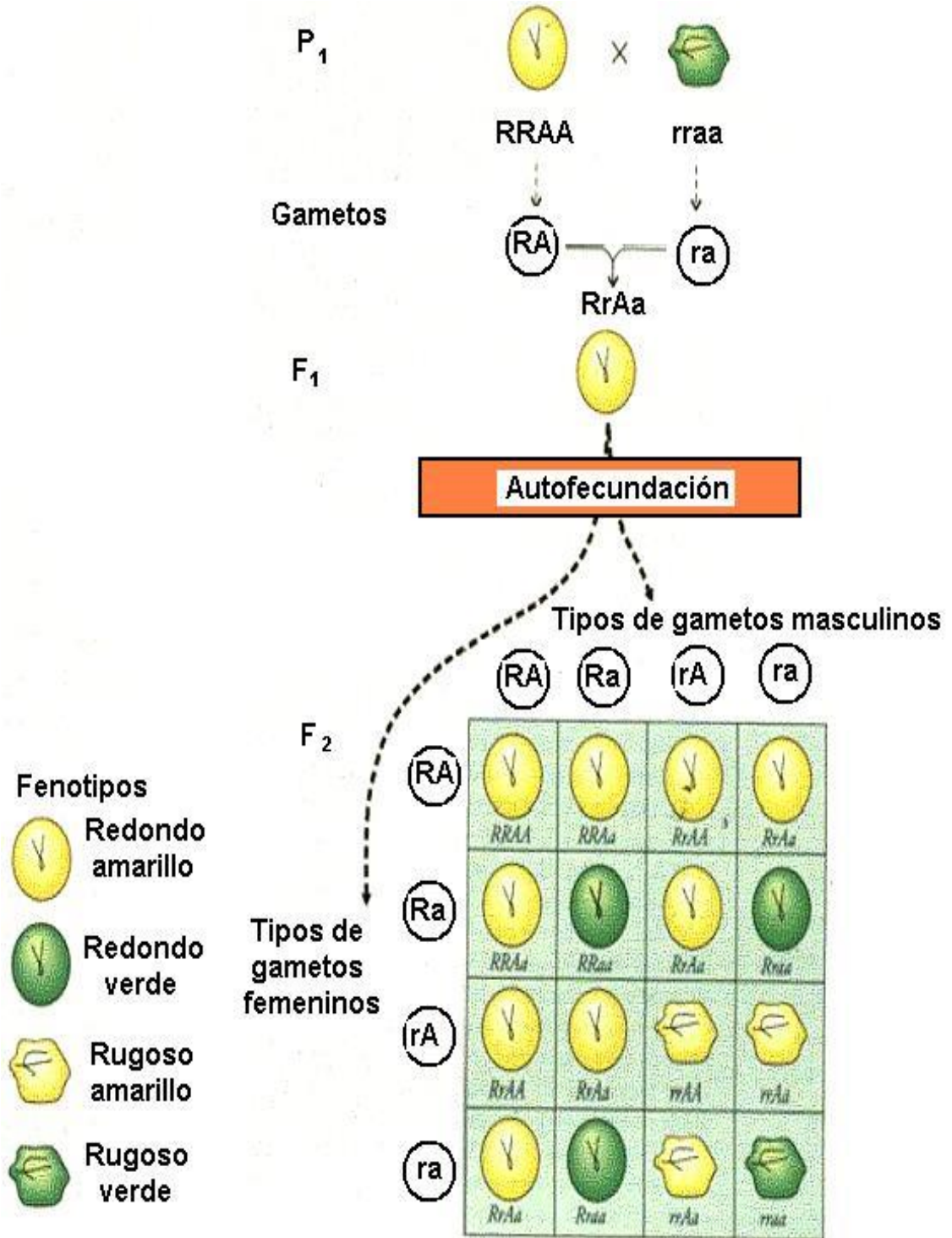
Los gametos portan un solo cromosoma de cada par homólogo. Así, un gameto dado sólo puede poseer un gen de cualquier par dado de genes alélicos



En el cigoto tienes pares homólogos de cromosomas, pero de cada par, un miembro será de origen materno y otro paterno. Cada par portará genes alélicos.

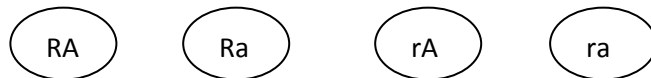


Figura 7.6: Distribución de los genes en los cromosomas.



**Figura 7.7:** Representación gráfica de un cruce dihíbrido. Se estudian dos características: formas de la semilla (redondas y rugosas) y el color de la semilla (amarilla y verde).

**Cuarto principio de Mendel** Conforme se observa en el cruce anterior, aparentemente los genes para las características diferentes se separan **independientemente** el uno del otro. Así, (R) se separó de (r) a la vez que (A) se separó de (a). Cada (R) o (r) tuvo entonces la misma probabilidad de unirse a (A) o (a) para producir uno de los gametos.

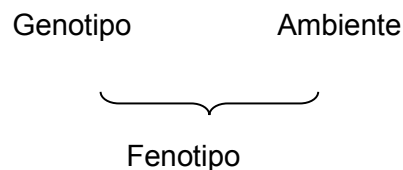


La segregación independiente de genes diferentes durante la formación de gametos constituye el **cuarto principio** de **Mendel** que puede enunciarse así: “Durante la formación de los gametos, los genes para una característica se separan y se distribuyen en los gametos independientemente de los genes para otras características” (Klug *et al*, 2006).

### 7.7. FENOTIPO Y AMBIENTE.

Las condiciones ambientales tienen una poderosa influencia sobre el fenotipo de un individuo. Los factores más influyentes son la alimentación, las enfermedades, el ejercicio físico y la educación. Las interacciones entre el genotipo y el ambiente determinan el fenotipo.

Unos pocos rasgos humanos, por ejemplo el grupo sanguíneo ABO, son controlados por el genotipo solamente. La mayoría de los rasgos de la especie humana, no obstante, se desarrollan en respuesta a interacciones entre el genotipo y el ambiente, tales como la estatura. La función que desempeña tanto el genotipo como el ambiente se estudia con precisión en el caso de los **gemelos idénticos** que se han criado separados, ya que tienen el mismo genotipo pero han crecido en ambientes diferentes.





**Figura 7.8:** Influencia del entorno en el fenotipo. Al rasurar el pelo del conejo himalaya y colocarle un trozo de hielo, el nuevo pelaje que crece es negro en lugar de blanco, lo cual demuestra que la enzima que produce la melanina (un pigmento oscuro) se activa sólo a bajas temperaturas. Tomado de Mader 2008.

La temperatura a menudo afecta la expresión génica. Una especie vegetal, la primula, tiene las flores rojas a temperatura ambiente y flores blancas cuando la temperatura está por encima de 30°C. Por otra parte, ciertos genes determinan la formación de enzimas (proteínas) **termolábiles**, es decir no funcionan a altas temperaturas ni siquiera dentro de los valores fisiológicos normales. Una enzima de este tipo es la responsable del color en los gatos siameses. Funciona adecuadamente en las zonas periféricas más frías del cuerpo, tales como las orejas, la nariz, las patas y el extremo de la cola, pero se vuelve inactiva en las áreas más calientes del cuerpo.

Por razones similares, los conejos de la raza Himalaya son todos negros cuando se crían a temperaturas próximas a 5°C; son blancos, con orejas, patas, narices y colas negras cuando se crían a temperaturas ambientales normales y son todos blancos cuando crecen a temperaturas ambientales superiores a 35°C. Estos son ejemplos extremos de una premisa universal: el fenotipo de cualquier organismo es el resultado de la interacción entre los genes y el ambiente (Puertas, 1999).

### 7.7.1. La nutrición y sus efectos

El fenotipo de un individuo se ve alterado por el efecto de las **mutaciones nutricionales**. Son muy frecuentes las mutaciones que evitan la síntesis de las moléculas nutritivas, cuando se inactiva una enzima esencial de una ruta metabólica. Si no se puede sintetizar el producto final de una ruta bioquímica, y si dicha molécula es esencial para el crecimiento y el desarrollo normales la mutación impedirá el crecimiento y puede ser letal.

En la especie humana se conocen una serie de circunstancias ligeramente diferentes. La presencia o ausencia de ciertas sustancias en la dieta, que los individuos normales

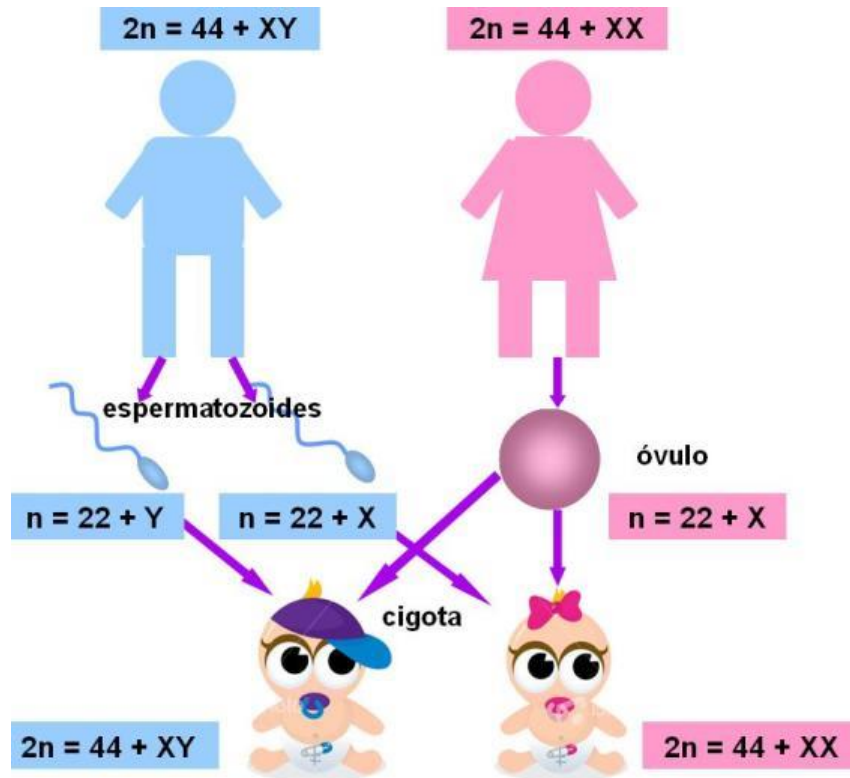
pueden consumir sin perjuicios, pueden afectar gravemente a individuos con constituciones genéticas anormales. A menudo, una mutación puede evitar que un individuo metabolice una sustancia que normalmente se encuentra en la dieta. Por ejemplo, los afectados por el trastorno genético **fenilcetonuria** no pueden metabolizar el aminoácido fenilalanina. Aquellos con galactosemia no pueden metabolizar la galactosa. Sin embargo, si se reduce drásticamente, o se elimina, la ingestión de la molécula correspondiente en la dieta, el fenotipo asociado puede mejorarse.

El caso, bastante corriente, de la **intolerancia a la lactosa**, por el que los individuos no toleran la lactosa de la leche es un ejemplo de los principios generales implicados. (Klug et al, 2006).

## **7.8. HERENCIA CROMOSÓMICA.**

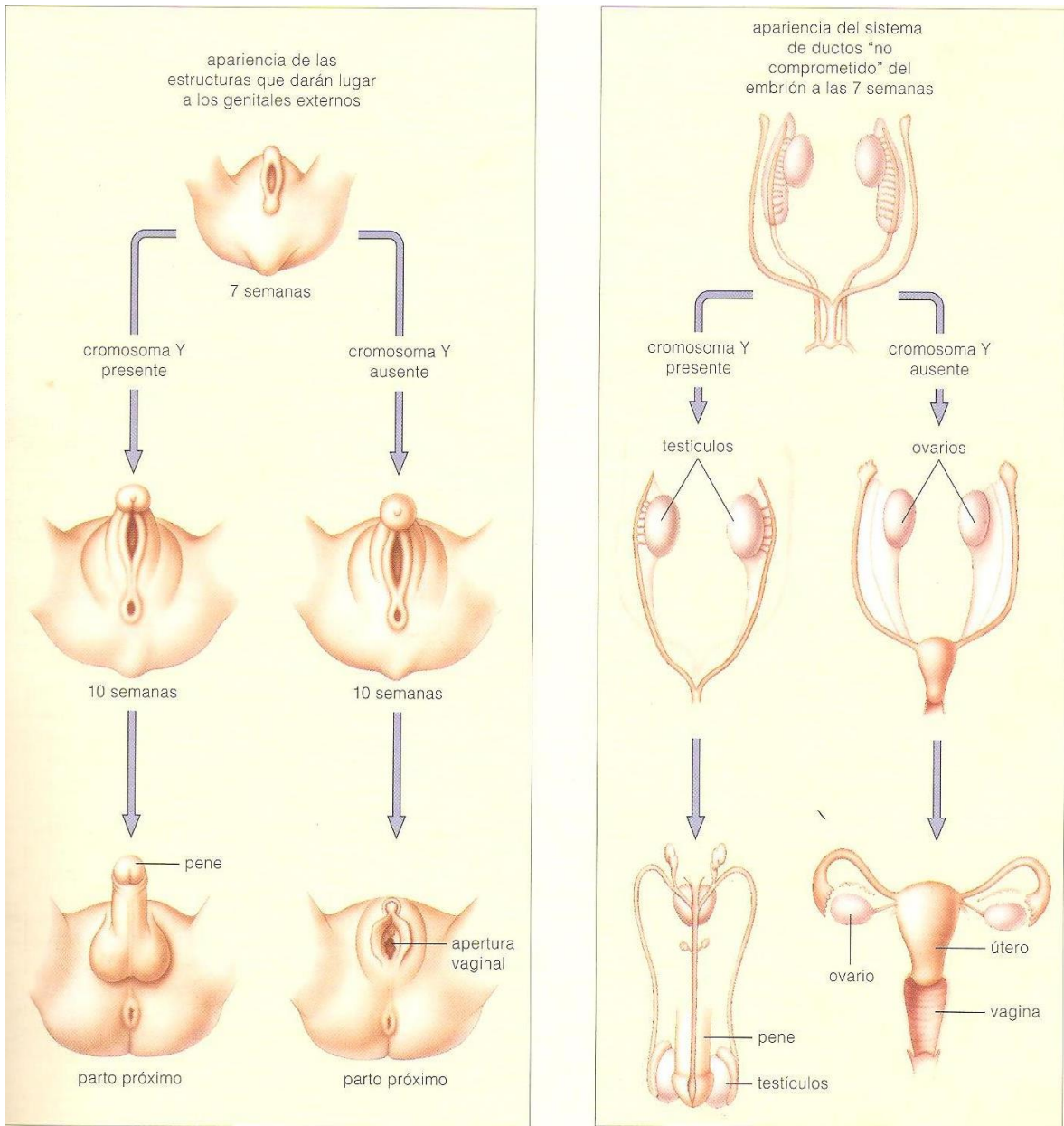
En casos específicos, las características de un individuo dependen de cromosomas completos más que de genes determinados. Por ejemplo, el hecho de que una persona sea hombre o mujer depende de cuál cromosoma hereda del padre. Además, algunas anomalías genéticas se desarrollan cuando un individuo hereda pocos o varios cromosomas.

**7.8.1 Determinación del sexo en humanos:** Cada célula del cuerpo humano contiene 22 pares de cromosomas homólogos, llamados **autosomas**, más un par de **cromosomas sexuales**. En un varón, los cromosomas sexuales son de dos tipos: un cromosoma **X** largo y un cromosoma **Y** corto. En una mujer, los cromosomas sexuales son ambos cromosomas **X**. En la especie humana, la mitad de los espermatozoides contiene un cromosoma **Y** y la otra mitad posee un cromosoma **X**. Todos los óvulos contienen un cromosoma **X**. La fecundación de un óvulo portador de un cromosoma **X** por un espermatozoide de un cromosoma **X** da por resultado un cigoto femenino, **XX**; la fecundación por un espermatozoide portador de un cromosoma **Y** produce un cigoto masculino, **XY**. Este método de determinación del sexo se conoce como sistema **XY** y es igual para todos los mamíferos, pero diferente para otras especies animales (Karp, 2011).



**Figura 7.9.** Diagrama que muestra cómo se determina el sexo en humanos

**El cromosoma Y humano.** En la especie humana se esperaría que hubiese la misma cantidad de espermatozoides portadores de cromosomas X y Y, y una proporción 1:1 de mujeres y hombres. Sin embargo, en realidad se conciben más varones que mujeres y más varones mueren antes del nacimiento. Nacen aproximadamente 106 niños por cada 100 niñas. La causa de esto no se conoce pero se supone que los espermatozoides con cromosomas Y tienen alguna ventaja competitiva. (Curtis y Barnes, 2000).



a.

b.

**Figura 7.10:** a) Apariencia externa de los órganos reproductivos que se forman en los embriones humanos. b) Sistema de ductos que se forman en etapa temprana en el embrión humano. Puede desarrollarse para dar lugar a órganos reproductivos primarios masculinos o femeninos, dependiendo de que el gen SRY esté presente o ausente. Tomado de Curtis y Barnes, 2000.

El genetista estadounidense Edwar Fugger ha desarrollado un método denominado

“Microsoft” que permite separar los espermatozoides que contienen cromosomas X de los que contienen cromosomas Y. Esto se logra con un aparato de tecnología avanzada que puede analizar en segundos por lo menos 5000 espermatozoides y clasificarlos de acuerdo con su concentración de ADN. Para dicha selección el equipo tiene en cuenta que los cromosomas X de los espermatozoide tienen alrededor de un 2.8% más de ADN que los cromosomas Y.

Investigaciones realizadas en 1991 por el Dr. Peter Goodfellow del Centro Británico de Ontología demostraron que no todo el cromosoma Y es el que determina la masculinidad de un individuo. Los expertos lograron aislar el gen **SRY** responsable de la formación de los testículos en el varón. La prueba está en que, cuando el gen **SRY** se injerta en embriones de ratones hembra, éstos también desarrollan rasgos masculinos.

Desarrollo del aparato genital: aunque el sexo genético se determina en el momento de la fecundación, el aparato genital primitivo es indistinguible entre ambos sexos en la etapa embrionaria, que se conoce como “etapa indiferente” del desarrollo genital, durante el cual los fetos tanto masculino como femenino tienen gónadas con regiones corticales y medulares prominentes, juegos dobles de conductos genitales y genitales externos que parecen semejantes. Desde el punto de vista clínico, el género no se manifiesta hasta cerca de la decima segunda semana de vida embrionaria. (Griffiths et al, 2000).

En esta etapa, si el gen SRY está presente, entonces el embrión forma testículos y a continuación, elabora andrógenos (testosterona) que desarrollarán los caracteres masculinos. Si el gen SRY está ausente, el embrión forma ovarios. El desarrollo genital de la mujer se ha denominado vía básica del desarrollo del embrión humano, que no requiere estrógenos pero sí ausencia de testosterona.

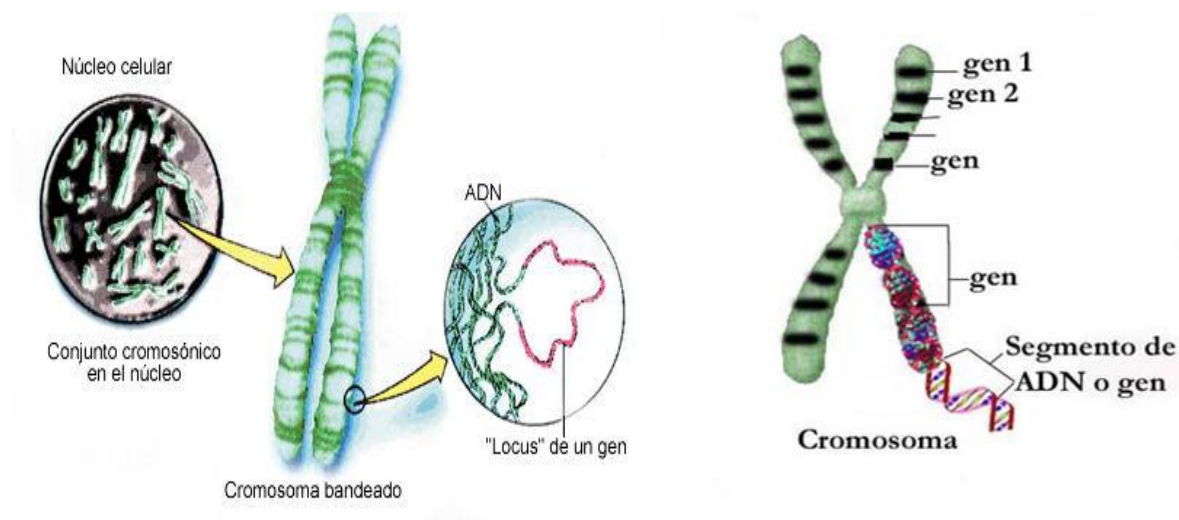
Los embriones masculinos y femeninos tienen idéntico desarrollo hasta la séptima semana después de la fecundación. En este momento, si el gen SRY para la formación de testículos está presente, entonces el embrión forma testículos y desarrolla caracteres masculinos. Si el gen está ausente, entonces el embrión forma ovarios y desarrolla características femeninas. Los genes del cromosoma **Y** tienden a permanecer allí, debido a que el entrecruzamiento casi nunca ocurre entre el cromosoma **Y** y el cromosoma **X**.

En los animales **hermafroditas**, el mismo individuo presenta órganos reproductores de ambos sexos. Estos animales carecen de cromosomas sexuales.



## 7.9. RELACIONES ENTRE PROTEINAS Y GENES.

Los organismos no pueden permanecer vivos sin enzimas y otras proteínas. Las proteínas se forman de cadenas polipeptídicas, las cuales a su vez constan de aminoácidos. Cada secuencia de aminoácidos corresponde a un **gen**, el cual es una secuencia de bases de los nucleótidos en la molécula de ADN.



**Figura7.11.** Diagrama en donde se muestra la estructura de un gen.

Las proteínas son responsables de conferir las propiedades particulares de los seres vivos. La naturaleza diversa de la función biológica descansa en el hecho de que las proteínas se fabrican a partir de 20 aminoácidos diferentes. En una cadena proteica de unos 100 aminoácidos de longitud, en cada posición puede haber cualquiera de los 20 aminoácidos; el número de proteínas distintas con 100 aminoácidos, cada una con una secuencia única, es igual a una cantidad inimaginable:  $20^{100}$  proteínas. Obviamente, la evolución se ha aprovechado de una clase de moléculas con un potencial enorme de diversidad estructural para que sirva de sostén principal a los sistemas biológicos.

La clase más numerosa de proteínas son las **enzimas**. Estas moléculas son catalizadores biológicos que esencialmente permite que las reacciones biológicas se produzcan a un ritmo que sustente la vida en las condiciones que existen en la tierra. Disminuyendo la energía de activación de las reacciones, el metabolismo puede darse bajo la dirección de las enzimas a la temperatura corporal. (Prinrose y Twyman, 2004).



Hay incontables proteínas distintas de las enzimas que son componentes esenciales de las células y de los organismos. Entre estas se encuentran la **hemoglobina**, el pigmento de los glóbulos rojos que transporta el oxígeno; la **insulina**, hormona pancreática; el **colágeno**, molécula del tejido conjuntivo; la **queratina**, molécula estructural del pelo; las **histonas**, proteínas de la estructura de los cromosomas en los eucariotas; la **actina** y la **miosina**, proteínas contráctiles del músculo y las **inmunoglobulinas**, los anticuerpo del sistema inmune.

El potencial para tan diversas funciones descansa en la enorme variación de la estructura tridimensional de las proteínas. Esta estructura viene determinada por la secuencia lineal de aminoácidos que constituyen la molécula. Para cerrar el círculo, esta secuencia viene dictada por la información almacenada en el ADN de un gen que se transfiere al ARN, el cual dirige la síntesis de las proteínas. El ADN fabrica ARN que luego ensamblan proteínas.

Cada célula humana contiene 46 moléculas lineales de ADN. Entre todas suman unos  $3 \times 10^9$  pares de bases dispuestas una detrás de otra como los eslabones de una cadena. Se llama GEN o CISTRON al segmento de ADN que contiene la información para sintetizar una cadena peptídica. Los distintos genes de un cromosoma se sitúan linealmente en el ADN, uno detrás de otro. Un gen sintetiza un péptido y varios péptidos se unen para formar una proteína. Por lo tanto, es incorrecta la afirmación de que un gen codifica para una proteína.

Aunque la estructura básica del ADN (azúcar - fosfato - bases nitrogenada) es común para todos los seres vivos, existen diferencias entre los genes de los eucariotas y los procariontes. (Paniagua et al, 2011).

1. La información contenida en los genes eucariotas no es continua, es decir, se encuentra repartida en varios segmentos de ADN codificante (**exones**: segmentos de ADN codificante), interrumpidos por segmentos de ADN no codificante (**intrones**: segmentos de ADN no codificantes). El número de exones e intrones varía de un gen a otro. Los genes procariontes no contienen intrones.

2. En los procariontes (y en algunos eucariotas inferiores) existen unas estructuras génicas denominadas OPERONES, que contienen la información para producir varias proteínas distintas (relacionadas funcionalmente) de una manera coordinada (una sola estructura de control para todas ellas). Un ejemplo de operón es el Lac del *E. coli*, que codifica tres

enzimas de la ruta metabólica de la lactosa. Un operón se transcribe a un único ARNm. Este se traduce a una proteína que luego es escindida en varias proteínas que contienen acciones distintas (por ejemplo, enzimas con diferentes substratos).

El ADN de una célula eucariota, que puede medir varios metros de longitud, no está disperso por el núcleo, sino que se organiza en unidades denominadas nucleosomas. Los nucleosomas, a su vez, se organizan formando la fibra de cromatina (Barnum, 2005).

## 7.10. BASES DE LA INGENIERIA GENÉTICA.

El término **ADN recombinante** hace referencia a la creación de nuevas combinaciones de segmentos o de moléculas de ADN que no se encuentran juntas de manera natural en el genoma de un organismo. Aunque el proceso genético de recombinación produce moléculas de ADN recombinante, el término ADN recombinante se reserva generalmente para las moléculas de ADN producidas por la unión de segmentos que provienen de diferentes fuentes biológicas.

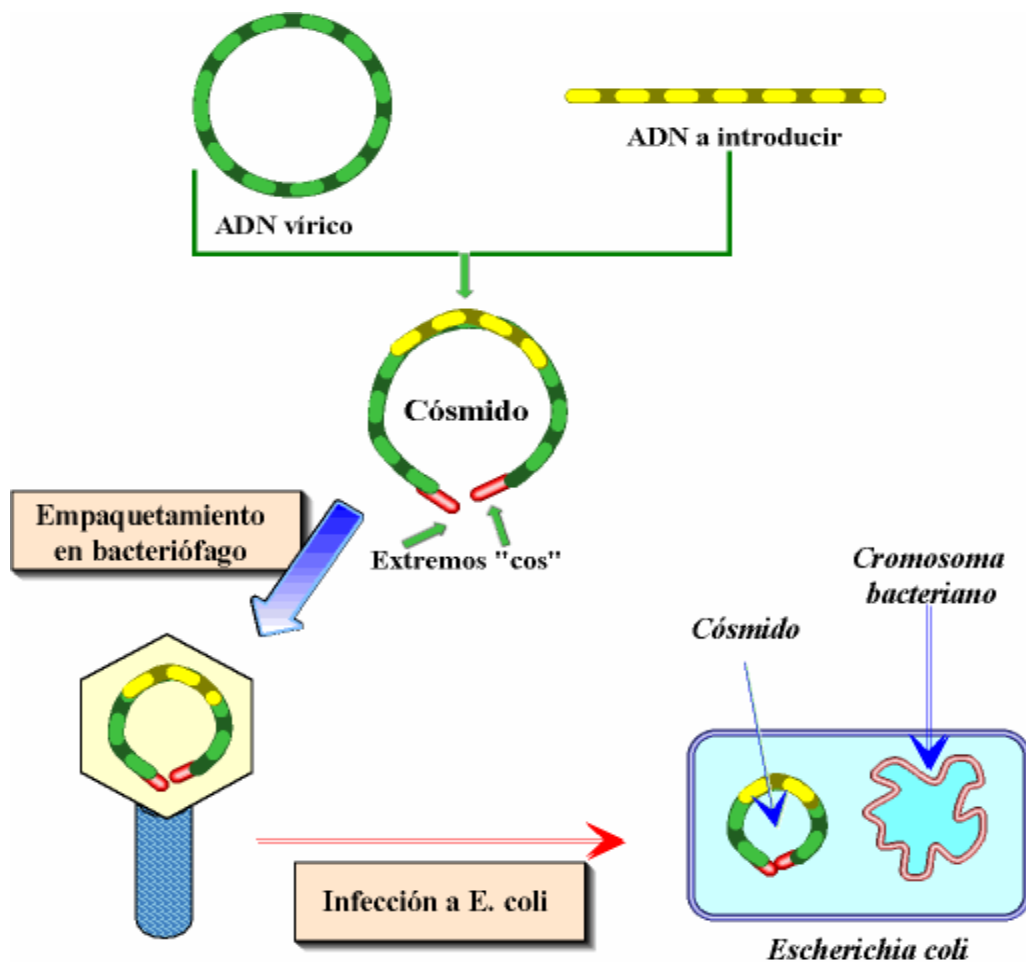
Las primeras moléculas de ADN recombinante fueron formadas con los métodos antes mencionados en 1973 por Paul Berg, Hebert Boyer, Annie Chang y Stanley Cohen de la universidad Stanford y de la Universidad de California, en USA y así nació la Ingeniería Genética (Sclafani y Holsen, 2007).

Esta disciplina se encarga de la formación de nuevas combinaciones de genes por el aislamiento de un fragmento de ADN, la creación en él de determinados cambios y la reintroducción de este fragmento en el mismo organismo o en otro. Cuando los genes nuevos son introducidos en las plantas o animales, los organismos resultantes se llaman transgénicos u organismos genéticamente modificados. (OGMS).

La era del ADN recombinante comenzó cuando los investigadores descubrieron que las bacterias para protegerse de la infección de los virus sintetizan enzimas que restringen o previenen la infección cortando el ADN vírico en puntos específicos. Una vez roto, el ADN vírico no puede dirigir la síntesis de más partículas del fago. Los científicos se dieron cuenta rápidamente de que tales enzimas, llamadas **enzimas de restricción**, podían utilizarse para cortar el ADN de cualquier organismo en secuencias nucleotídicas específicas, dando lugar a una serie de fragmentos de manera reproducible. Esta fue la base para el desarrollo de la **clonación**, que consiste en producir un gran número de copias de estos fragmentos de ADN (Hanawalt, 2007).

Después de descubrirse que las enzimas de restricción se podían usar para producir fragmentos de ADN específicos, se desarrollaron métodos para insertar dichos fragmentos en moléculas de ADN portadoras, llamada vectores y transferir la combinación del vector con el fragmento de ADN (una molécula de **ADN recombinante**) a una bacteria en donde se producen cientos o miles de copias, o clones del vector y de los fragmentos de ADN. Estas copias clonadas se pueden recuperar de las bacterias y aislarse grandes cantidades del fragmento de ADN clonado. Una vez que se obtuvieron por clonación de grandes cantidades de fragmentos de ADN específicos, se utilizaron de modos distintos: para aislar genes, para estudiar su organización y expresión y para estudiar su secuencia nucleotídica y evolución. Además de preparar grandes cantidades de ADN específico para investigación, las técnicas de ADN recombinante fueron el fundamento de la industria biotecnológica. (Puertas, 1999).

A medida que las técnicas se fueron perfeccionando, fue posible clonar fragmentos de ADN cada vez mayores, preparando el camino para clonar el **genoma** completo de una especie, que abarca a todo el ADN que posee el mismo.



**Figura 7.12:** Ilustración de la técnica del ADN recombinante.

La tecnología del ADN recombinante y la clonación de genes proporciona a los científicos métodos para aislar grandes cantidades de genes específicos o de otras secuencias de ADN a partir de genomas grandes y complejos. Por ejemplo, el genoma humano contiene más de tres mil millones de nucleótidos y unos 25.000 a 30.000 genes. Las enzimas de restricción cortan el genoma en fragmentos más pequeños que se pueden manipular, separar, copiar y estudiar individualmente (Loeb et al, 2008). Ver Figura 7.12.

Esto permite que los científicos investiguen muchos aspectos de la organización y función de los factores que regulan la expresión génica y de las características y las funciones de las proteínas codificadas. Para el análisis, esta tecnología considera dos componentes importantes que se usan para construir las moléculas de ADN recombinante a saber:

- Las enzimas de restricción
- Los vectores de clonación

**Enzimas de restricción.** Las enzimas de restricción son producidas por las bacterias como un mecanismo de defensa contra las infecciones víricas. Se han identificado más de 200 enzimas de restricción, aproximadamente 100 de las cuales se usan de manera rutinaria por los científicos. Todas las enzimas de restricción unen al ADN y reconocen una secuencia específica de nucleótidos, denominadas **secuencia de reconocimiento**. La enzima corta varias cadenas de ADN dentro de la secuencia de reconocimiento siguiendo un **patrón de corte** específico. La principal utilidad de las enzimas de restricción para la clonación procede de su capacidad de cortar el ADN genómico de manera precisa y reproducible en fragmentos denominados **fragmentos de restricción** (Yang y Woodgate, 2007).

El tamaño de los fragmentos de restricción viene determinada por la frecuencia con que una enzima de restricción corta el ADN. Si todos los nucleótidos estuviesen presentes en las mismas proporciones, las enzimas que reconocen una secuencia de 4 nucleótidos, como Alu I (AGCT), haría un corte, en promedio, cada 256 pares de bases ( $4^n=4^4 =256$ ), produciendo muchos fragmentos pequeños.

Las enzimas como *NotI* reconocen una secuencia de ocho bases (GCGGCCGC) y en promedio cortan el ADN cada 65.500 pares de bases ( $4^n=4^8$ ), produciendo menos

fragmentos pero más largos. El tamaño real de los fragmentos producidos al cortar el ADN con una determinada enzima de restricción es variable ya que el número y la localización de las secuencias de reconocimiento no están siempre distribuidos aleatoriamente en el ADN.

La mayoría de las secuencias de reconocimiento contienen un tipo de simetría en la que la secuencia nucleotídica se lee igual en ambas cadenas del ADN en dirección 5' → 3' (un palíndromo). Cada enzima de restricción se une al ADN en una secuencia de reconocimiento específica, y lo corta según un patrón de corte característico (Pomerantz y O'Donnel 2007).

**Vectores de clonación.** Los fragmentos de restricción del ADN no pueden entrar directamente en las células huésped para ser copiados. Sin embargo, cuando se une un fragmento de restricción a otra molécula de ADN denominada **vector**, puede entrar en una célula huésped, donde se puede replicar o clonar en muchas copias. En esencia, los vectores son moléculas transportadoras de ADN que transfieren y replican (clonan) fragmentos de ADN insertados. Se dispone de muchos vectores de clonación, que difieren en la especificidad de la célula huésped, el tamaño de los insertos que pueden transportar y en otras características como el número de copias que producen, el número de secuencias de reconocimiento disponibles para la clonación y el número y el tipo de genes marcadores.

Para que sirva de vector, una molécula de ADN debe ser capaz de replicarse independientemente junto con el fragmento de ADN que transporta. El vector también debe contener diversas secuencias de reconocimiento que permitan la inserción del fragmento del ADN a clonar. Para insertar un fragmento de ADN, se corta el vector con una enzima de restricción y se mezcla con una colección de fragmentos de ADN producidos con la enzima misma. Los vectores que transportan un fragmento insertado se denominan **vectores recombinantes** siendo todos ellos un ejemplo de molécula de ADN recombinante producida por la unión del ADN de dos fuentes diferentes.

Para distinguir las células huésped que han incorporado vectores de las que no los contiene, el vector debe llevar un gen marcador de selección (generalmente genes de resistencia a antibióticos o genes que codifican enzimas ausentes en la célula huésped). Finalmente, debería ser fácil recuperar el vector y el ADN insertado de la célula huésped.

**Los vectores plasmídicos.** Los primeros vectores que se desarrollaron y que todavía se

utilizan ampliamente fueron plásmidos modificados genéticamente. Estos vectores plasmídicos proceden de moléculas de ADN extracromosómicas de doble cadena que se encuentran de manera natural, que se replican autónomamente dentro de las células bacterianas (Griffiths *et al*, 2000).

## 7.11. AMPLIFICACIÓN DEL ADN POR PCR.

Como se mencionó anteriormente, las técnicas del ADN recombinante se desarrollaron a principios de la década de 1970, y revolucionaron la investigación en genética y en biología molecular. Estos métodos también permitieron el nacimiento de la expansiva industria biotecnológica. Sin embargo, a menudo la clonación de ADN utilizando vectores y células huésped requiere mucho trabajo y tiempo. En 1986 se desarrolló otra técnica, la denominada PCR (Polymerase Chain Reaction) o **reacción en cadena de la polimerasa** (Stillman, 2008).

La PCR es un método rápido de clonar ADN que incrementa el potencial de la investigación de ADN recombinante y elimina la necesidad de células huésped para clonar el ADN. Aunque la clonación basada en células huésped todavía se usa de manera amplia, la PCR es el método preferido en muchas aplicaciones, incluyendo la biología molecular, la genética humana, la evolución, el desarrollo, la conservación y la medicina forense.

La PCR copia secuencias específicas de ADN mediante una serie de reacciones *in vitro*, y puede amplificar secuencias mediadas de ADN presentes en cantidades infinitesimales entre una población de otras moléculas de ADN. Uno de los prerrequisitos para la PCR es que se precisa de alguna información sobre la secuencia nucleotídica del ADN a clonar. (Loeb *et al*, 2008).

En la práctica, la PCR implica tres pasos. En teoría la cantidad de ADN amplificado que se produce sólo está limitada por el número de veces que se repiten estos pasos.

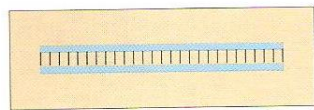
1. El ADN a clonar se desnatura en cadenas sencillas. Este ADN puede provenir de muchas fuentes diferentes, incluyendo ADN genómico, restos momificados, fósiles y muestras forenses como sangre seca o semen, pelos aislados y muestras almacenadas en registros médicos. El ADN de doble cadena se desnatura calentándolo a unos 90-95°C, lo que lo disocia en sus cadenas sencillas (normalmente en unos cinco minutos).
2. Se disminuye la temperatura de la reacción hasta 50-70°C, la denominada temperatura de hibridación, a la que los **cebadores** se unen al ADN de cadena sencilla. **Los cebadores son oligonucleótidos sintéticos (de 15 a 30 nucleótidos de longitud)** complementarios a las secuencias que flanquean el ADN indicado a

copiar. Los cebadores sirven de punto de iniciación para la síntesis de nuevas cadenas de ADN complementarias al ADN indicado.

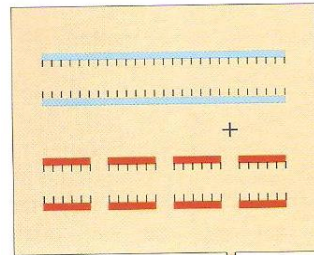
3. A la mezcla de reacción se le añade una ADN polimerasa resistente al calor (la polimerasa *Taq*). La síntesis de ADN se realiza a una temperatura de 70-75°C. La polimerasa *Taq* extiende los cebadores añadiendo nucleótidos en dirección 5'- 3' haciendo una copia de doble cadena del ADN indicado. (Hanawalt, 2007)

Cada grupo de tres pasos, **desnaturalización** del ADN de doble cadena, **hibridación de los cebadores**, y **extensión** por la polimerasa, es un ciclo. La PCR es una reacción en cadena porque el número de cadenas nuevas de ADN se dobla a cada ciclo, y las nuevas cadenas, junto con las viejas, sirven de molde para el siguiente ciclo. Cada ciclo que dura 5 minutos, puede repetirse, y en menos de tres horas, en unos 25-30 ciclos, la cantidad de ADN aumenta más de un millón de veces.

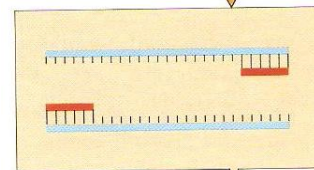
Este proceso está automatizado y lo realiza una máquina denominada *termociclador*, que se puede programar para que realice un número predeterminado de ciclos, produciendo grandes cantidades de segmentos específicos de ADN que se pueden usar para muchos propósitos, incluyendo la clonación en vectores plasmídicos, la secuenciación de ADN, diagnósticos clínicos y rastreos genéticos.



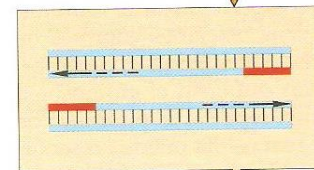
**a** La PCR se inicia con un fragmento de ADN de doble cadena.



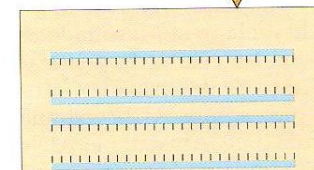
**b** El ADN se calienta a 90°- 94°C para que se desenrolle. Sus cadenas únicas serán los patrones.



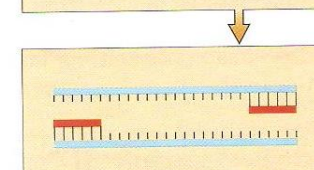
**c** Cebadores diseñados para el apareamiento de bases con los extremos de las cadenas de ADN se mezclan con el ADN.



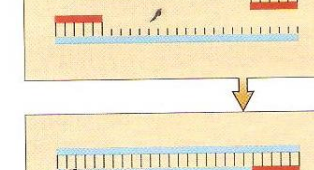
**d** La mezcla se enfría. La temperatura más baja promueve el apareamiento de bases entre los cebadores y los extremos de las cadenas de ADN.



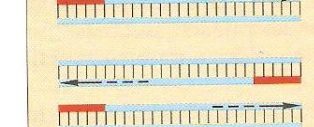
**e** Las ADN polimerasas reconocen a los cebadores como codificadores START (INICIO). Ensamblan secuencias complementarias sobre las cadenas y así se duplica el número de fragmentos idénticos de ADN.



**f** La mezcla se calienta de nuevo. La temperatura más alta hace que todos los fragmentos de ADN de doble cadena se desenrollen.



**g** La mezcla se enfría. La temperatura más baja promueve el apareamiento de bases entre más cebadores agregados a la mezcla y las cadenas únicas.

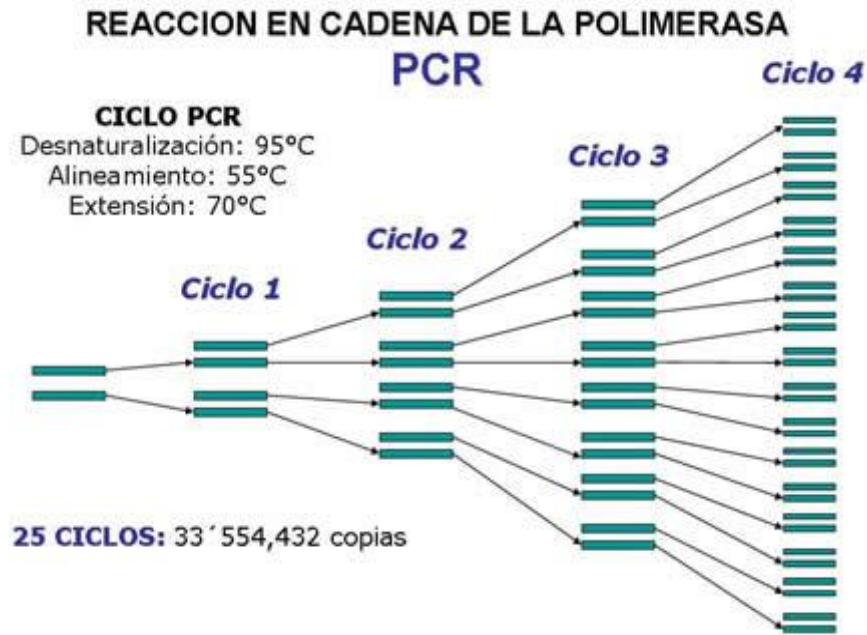


**h** La acción de la ADN polimerasa duplica de nuevo el número de fragmentos de ADN idénticos.

*La secuencia de reacciones recién descrita continúa. Cada vez, el número de fragmentos de ADN de la mezcla se duplica. Miles de millones de fragmentos*

**Figura 7.13:** Diagrama que muestra los pasos de la reacción y cadena de la polimerasa (PCR).





**Figura 7.14:** Aspecto general de la reacción en cadena de la polimerasa.

La clonación de ADN basada en la PCR presenta diversas ventajas respecto a la clonación basada en células. La PCR es rápida, y puede realizarse en unas pocas horas, en vez de días, como la clonación basada en células. Además, el diseño de los cebadores para la PCR se hace automáticamente con un programa de computador, y la síntesis comercial de oligonucleótidos también es rápida y económica. Ver Figura 7.14.

La PCR también es muy sensible, y amplifica secuencias específicas de ADN a partir de pequeñas muestras de ADN prácticamente indetectables, incluyendo el ADN de una sola célula. Esta característica de la PCR tiene un valor incalculable en diversas áreas, incluyendo las pruebas genéticas, la medicina forense y la paleontología molecular. También pueden usarse muestras de ADN que están parcialmente degradadas, que se encuentran mezcladas con otros materiales, o que están incluidas en un medio (como el ámbar) que sería difícil o imposible con las técnicas de clonación convencionales. (Wickelgren, 2007).

## 7.12 ORIGEN DE LA VIDA

Desde que el ser humano tuvo la capacidad de pensar y de razonar comenzó a preguntarse cómo se originaron los seres vivos que estaban en su entorno, surgiendo así uno de los problemas más complejos y difíciles que se ha planteado el hombre. En su afán de encontrar respuestas satisfactorias se plantearon explicaciones religiosas, mitológicas y científicas de muy diversa índole (Overmire, 2003).

Se han presentado numerosas hipótesis acerca del origen de la vida. Sin embargo se han seleccionado cuatro hipótesis por ser las más conocidas:

- Primera: Creacionismo
- Segunda: Generación espontánea
- Tercera: Origen cósmico de la vida o panspermia
- Cuarta: Evolución química y celular

#### 7.12.1. Creacionismo

Es un sistema de creencias que postula que el universo, la tierra y la vida fueron deliberadamente creados por un ente superior. Hay diferentes versiones del creacionismo, pero sobresalen dos:

- El creacionismo religioso y
- El diseño inteligente

**Creacionismo religioso.** La creencia más generalizada desde la más remota antigüedad es que todo cuanto existe en el universo, incluyendo la Tierra y los seres vivos que la pueblan es producto de la voluntad de un ser superior llamado Dios, o de varios dioses.

Este concepto fue adoptado como dogma fundamental por algunas religiones (al menos en el mundo occidental) como el Judaísmo que en su libro sagrado el Génesis o primer libro de la Biblia sostiene que todos los seres vivos fueron creados por Dios en un lapso preciso (los días de la creación). Esto ocurrió hace 6.000 años y cada especie tiende a mantener sus características únicas y bien definidas a través del tiempo, concepto conocido como **inmutabilidad de las especies**. Con posterioridad, el Cristianismo reafirma el concepto religioso de la creación divina, que aún prevalece hasta la fecha.

El creacionismo religioso tiene dos tendencias predominantes:

- El creacionismo bíblico, que se fundamenta en la Biblia y
- El creacionismo islámico basado en El Corán.

### **DISEÑO INTELIGENTE.**

Al inicio de la última década del siglo XX surgió en los Estados Unidos de América una nueva propuesta acerca del origen de la vida que se conoce con el nombre de “**Diseño Inteligente**”.

Esta teoría acepta plenamente la evolución pero no causada por las mutaciones y la selección natural (como sostiene la teoría darwiniana) sino guiada por un “ser superior”. No se trata por lo tanto, de una interpretación fundamentalista de la Biblia sino que la ciencia misma es la que prueba la existencia de un dios creador.

El más respetado defensor del Diseño Inteligente es Michael J. Behe, catedrático de Bioquímica en la Universidad de Lehigh, Pensilvania (USA) quien en su libro “La caja negra de Darwin” afirma que los científicos darwinistas descuidaron un factor esencial: las células. La evolución tuvo que empezar necesariamente en ellas, pero sus orígenes evolutivos no han sido explicados aún. Para Behe las estructuras celulares (mitocondrias, cloroplastos y demás) no pueden ser producto de un proceso de mutaciones y selección natural. Son tan perfectas, hermosas y necesarias que “alguien” tuvo que diseñarlas.

El DI carece de una doctrina religiosa específica, ni hace suposiciones de quien es el creador. Tampoco elabora textos religiosos ni formula teorías acerca del origen del universo. El DI simplemente postula que el universo posee evidencia de que inteligentemente está diseñado.

#### **7.12.2. Generación espontánea**

Desde la antigüedad se aceptaba que la vida podía surgir del lodo, del agua, del mar o de las combinaciones de los denominados cuatro elementos fundamentales: aire, fuego, agua y tierra. Este concepto se ha conocido como “**generación espontánea**” de los seres vivos.

Aristóteles (384 – 322 a.C.) el primer gran naturalista propuso el origen espontáneo de gusanos, insectos y peces a partir de sustancias como el rocío, el sudor y la humedad. Según él, este proceso era el resultado de la interacción de la materia no viva, con

fuerzas capaces de dar vida a lo que no la tenía. A esta fuerza la llamó **entelequia**. Aristóteles igualmente afirmó que los seres vivos podían ser ordenados en una escala de la Naturaleza (**Scala Naturae**) en la cual las criaturas más simples tenían una posición supina en el peldaño más bajo mientras que el hombre ocupada el peldaño más alto y todos los demás organismos ocupaban lugares intermedios entre estos extremos.

Durante toda la Edad Media y el Renacimiento prevaleció el concepto de la generación espontánea. No obstante, la iniciación de una corriente filosófica diferente que impulsó el **método científico** y la experimentación permitieron la formación de criterios novedosos. En 1.668 el físico italiano Francesco Redi refutó la hipótesis de que los gusanos salían de la carne, simplemente colocando varios trozos de carne en frascos que cubrió con una tupida gasa, manteniendo así alejadas a las moscas de la carne no contaminada.

Posteriormente, el descubrimiento de los microorganismos propició una nueva polémica al observarse que los microorganismos surgían, al parecer espontáneamente, en caldos y preparados de fácil fermentación y putrefacción. La refutación de esta idea la iniciaron a mediados del siglo XIX los investigadores Louis Pasteur en Francia y John Tyndall en Inglaterra. Aunque su trabajo echó por tierra eficazmente la noción sobre la generación espontánea, no resolvió la pregunta clave de cómo se originó la vida en la tierra (Solomon *et al*, 2011).

Durante casi medio siglo, el tema quedó en suspenso. Con el tiempo, los biólogos volvieron a preguntarse sobre el origen de la vida y empezaron a buscar respuestas. Las investigaciones posteriores sobre el origen de la vida han sido tan numerosas y han suscitado muchas controversias que no se han resuelto satisfactoriamente. Esto evidencia que la comunidad científica no adhiere a un modelo único explicativo, sino que varios modelos coexisten, lo que origina diferentes hipótesis que se deben contrastar críticamente.

### **Origen cósmico de la vida o panspermia**

Según esta hipótesis la vida se ha generado en el espacio exterior y viaja de unos planetas a otros y de unos sistemas solares a otros.

El filósofo griego Anaxagoras ( siglo VI a.C.) fue el primero que propuso un origen cósmico para la vida, pero fue a partir del siglo XIX cuando esta hipótesis cobró auge

debido a los análisis realizados a los meteoritos, que demostraban la existencia de materia orgánica como carbohidratos, ácidos grasos, aminoácidos y ácidos nucleicos.

La hipótesis de la panspermia postula que la vida es llevada al azar de planeta a planeta y de sistema planetario a otro. Su máximo defensor fue el químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) quien afirmaba que la vida provenía del espacio exterior en forma de esporas bacterianas que viajan por todo el espacio impulsadas por la radiación de las estrellas.

Dicha teoría se apoya en el hecho de que las moléculas orgánicas importantes en la composición de los seres vivos, se pueden encontrar en muchos lugares del universo. El astrofísico Fred Hoyle también apoyó la idea de la panspermia por la comprobación de que ciertos organismos terrestres, llamados Extremófilos son tremendamente resistentes a condiciones adversas, y que eventualmente pueden viajar por el espacio y colonizar otros planetas. A la hipótesis de la panspermia también se le conoce con el nombre de "exogénesis" (Puertas, 1999).

**7.12.4. Evolución química y celular.** El primer conjunto de hipótesis verificables acerca del origen de la vida fue propuesto en las décadas de los veinte y los treinta del siglo XX por el bioquímico ruso Alexander I. Oparin y por el inglés J.B. Haldane, quienes trabajaban en forma independiente. Según estos científicos, la vida pudo haber surgido de la materia inerte, mediante reacciones químicas muy específicas.

**La hipótesis de Oparin** principia con el origen de la Tierra hace unos 4600 millones de años. Es muy probable que la atmósfera primitiva era reductora, quizás con altas concentraciones de metano ( $\text{CH}_4$ ), vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y algo de hidrogeno ( $\text{H}_2$ ), lo cual promovió la síntesis química. A medida que la tierra se enfrió, buena parte del vapor de agua se condensó para formar los mares primitivos. Las turbulencias atmosféricas ocurridas durante el periodo de enfriamiento debieron producir violentas tormentas eléctricas.

La energía de los relámpagos, junto con el calor que surgió del interior del planeta y las radiaciones ultra violeta provenientes del sol, produjeron una variedad de sustancias orgánicas sencillas en la atmósfera las cuales se acumularon en poco tiempo en los mares primitivos, formando la denominada **sopa caliente** (metáfora propuesta por J.B.S Haldane). La concentración de las sustancias orgánicas fue aumentando lo que le permitió formar moléculas cada vez más grandes y de mayor complejidad estructural, es decir, **coloides** con propiedades específicas de carga eléctrica, capacidad de absorción e incluso la capacidad de dividirse al llegar a ciertas dimensiones.

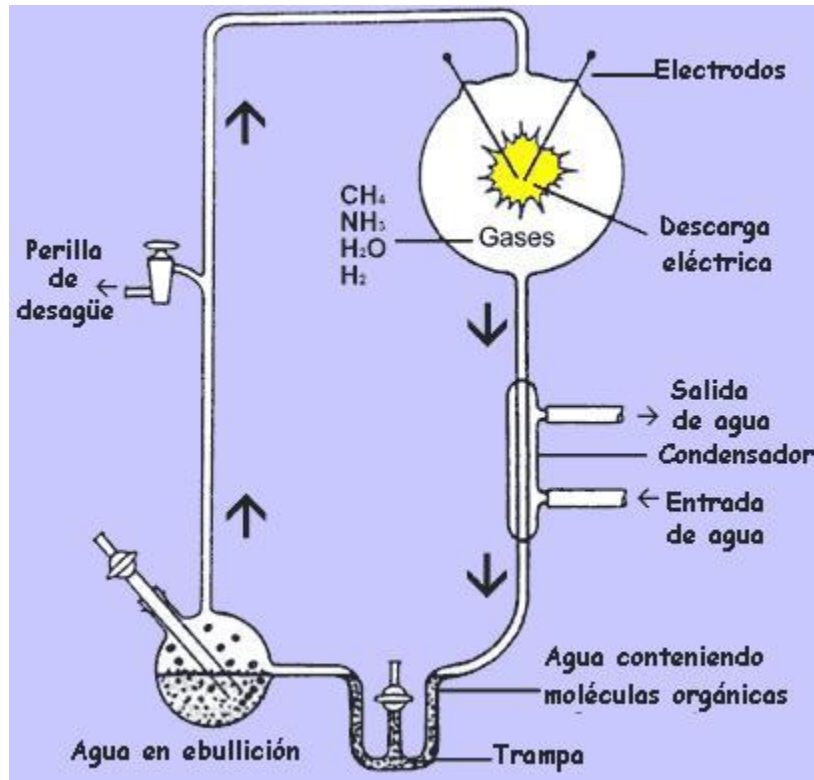
Oparin denominó **coacervados** a esos coloides específicos de gran complejidad organizacional. La mayor parte del trabajo experimental de Oparin se relacionó con la

exploración de las propiedades de los coacervados, los cuales serían el prototipo de las primeras células. Según el concepto de Oparin algunos aminoácidos pudieron unirse para formar una proteína que pudiera actuar como una enzima. Esta enzima, a su vez, pudo haber unido otros aminoácidos. En este caso, podría haber varias cadenas de aminoácidos y, tal vez, proteínas completas. Estos raros accidentes también pudieron generar trozos cortos de ácidos nucleicos con la habilidad para replicarse a sí mismos. En cada uno de estos casos, la aparición de una molécula orgánica podría llevar a la producción de muchas más.

La formación de moléculas orgánicas complejas a partir de sustancias simples debe haber necesitado energía. Oparin sugirió que había varias fuentes de energía posibles: La energía eléctrica de los relámpagos, la energía radiante del sol, la energía térmica de los volcanes y la energía proveniente de la desintegración de las sustancias radiactivas (Purves et al, 2001).

En 1954, los científicos estadounidenses Harold Urey y Stanley Miller, dieron apoyo experimental a la hipótesis de Oparin. Ver Figura 7.15. Ellos usaron un aparato que producía pequeñas descargas eléctricas en el interior de un sistema cerrado que contenía metano, amoníaco, vapor de agua y un poco de hidrógeno gaseoso. Los resultados de esa estimulación energética de una atmósfera parecida a la de la Tierra primitiva fueron asombrosos. Se formaron diversas moléculas orgánicas tales como cetonas, aldehídos y ácidos, pero lo más importante de todo fue que se sintetizaron aminoácidos. Si se tiene en cuenta que las proteínas son indispensables para la estructura y el funcionamiento de las células vivas, la formación de aminoácidos en las condiciones que prevalecieron teóricamente en la atmósfera primitiva del planeta brindó consistencia a la hipótesis de Oparin.

Los experimentos de éstos y otros científicos no prueban que los eventos ocurridos en el laboratorio sean los mismos que llevaron al desarrollo de la vida. Sin embargo, sí son evidencia de que las moléculas complejas que se encuentran en los organismos pudieron haberse formado de los materiales que existían en la Tierra primitiva.



**Figura 7.15.** Representación gráfica de los experimentos llevados a cabo por Stanley Miller y Harold Urey para recrear las condiciones iniciales en que se formó la primera célula

Cuando se estudia la teoría de Oparin surge la pregunta inevitable ¿por qué no sigue surgiendo la vida a partir de sustancias abióticas? Ya se conoce que la **generación espontánea** fue refutada hace tiempo por Louis Pasteur. Sin embargo, las condiciones **actuales** del planeta son bien diferentes a las de hace miles de millones de años. En otros términos, la atmósfera reductora de aquel entonces fomentaba la complejidad, mientras que la atmósfera oxidante actual promueve la simplificación en vez de incrementar la complejidad.

Otro factor importante es la presencia de organismos en los más recónditos lugares de la Tierra, los cuales consumen con avidez cualquier sustancia con energía disponible. Por consiguiente, las probabilidades de formación de sistemas complejos son muy limitadas ahora que el mundo entero está repleto de seres vivos (Paniagua *et al*, 2011).

### 7.12.5. Análisis crítico

Desde las épocas más antiguas, la voluntad divina se ha propuesto como una explicación del origen de la tierra y la creación de la vida humana. La Biología tiene poco que decir en torno a esto, ya que los argumentos filisóficos y religiosos no se basan en experimentos controlados. El tema de la evolución continúa provocando controversia entre la ciencia y la religión.

Parte de la confusión deriva del uso inadecuado de los términos “hipótesis” y “teoría”. Estos términos no son sinónimos. Una hipótesis es una suposición coherente acerca de un fenómeno, mientras que la teoría se basa en pruebas físicas o documentadas. Una hipótesis no necesariamente se convierte en teoría demostrable y comprobable. Sin embargo no es razonable sostener que porque la teoría evolucionista no puede probarse experimentalmente, su valor no tiene más valor que cualquier otra prueba circunstancial. El genetista Theodosius Dobzhansky expresó al respecto lo siguiente:

*“Es absurdo confundir la Biblia y el Corán con los manuales de ciencias naturales. Tratan temas incluso más importantes: el significado del hombre y sus relaciones con Dios. Están escritos en símbolos poéticos que fueron comprensibles para las personas de la época en que fueron escritos, así como también para las personas de todas las épocas.*

*Los desacuerdos y conflictos de opinión abundan entre los biólogos, ya que están en una ciencia dinámica y creciente. Los antievolucionistas confunden o pretenden confundir estos desacuerdos como indicaciones de incertidumbre de toda la doctrina de la evolución. Su pasatiempo favorito es recabar referencias, obtenidas cuidadosa y a veces hábilmente fuera del contexto, para mostrar que nada está realmente establecido o aceptado entre evolucionistas.”* (Overmire, 2003)

Los fuertes sentimientos que ha originado esta controversia muestran que los aspectos políticos, religiosos y sociales no se resuelven siempre con base a su mérito científico.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- ALEXANDER, Peter *et al.* 1992. Biología. New Jersey. Prentice Hall.
- AYALA, Francisco y Jhon A. Kiquer Jr. 1984. Genética moderna. México: Iberoamericana.
- BARNUM, S .R. 2005. Biotechnology. 2<sup>nd</sup> ed. Belmont (USA): Brooks-Cole.
- COOPER, Geoffrey M. y R.E. HAUSMAN. 2011. La célula. 5a ed. Madrid:



Marbán.

- CURTIS, Helena y N. Sue BARNES. 2000. Biología 6ª ed. Madrid: Médica Panamericana.
- GRIFFITHS, Anthony J. F. et al. 2000. Genética moderna. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- HANAWALT, P. C. 2007. Paradigms for the three Rs: DNA replication, recombination and repair. *Mol. Cell* 28: 702-707.
- IZCO, Jesús *et al.* 1997. Botánica. Madrid: Mc Graw- Hill Interamericana.
- KARP, Gerald. 2011. Biología celular y molecular. 6ª ed. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- KLUG, William S. et al. 2006. Conceptos de Genética. 8a ed. Madrid: Pearson Educación.
- LOEB, L. A. et al. 2008. DNA polymerases and human disease. *Nature Revs. Gen.* 9: 594-604.
- MADER, Sylvia. 2008. Biología. 9a ed. México: Mc Graw-Hill.
- OVERMIRE, Thomas G. 2010. Biología 2ª ed. México: Limusa
- PANIAGUA, Ricardo et al. 2011. Biología celular. 5ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- POMERANTZ, R.T. and M. O'DONNELL. 2007. Replisome mechanics: insights into a twin DNA polymerase machine *Trends Microbiol* 15: 156-164.
- PRINROSE, S.B. and R.M. TWYMAN. 2004. Genomics: Applications in human biology. Oxford: Blackwell Publishing.
- PUERTAS, M.J. 1999. Genética. 2ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- PURVES, William K. et al. 2001. Life. The science of Biology. 6<sup>th</sup> ed. USA: Sinauer Associates.
- SCLAFANI, R.A and T.M. HOLZEN. 2007. Cell cycle regulation of DNA replication. *Ann. Rev. Gen.* 41: 237-280.

- SOLOMON, Eldra P. et al. 2004. Biología de Villée. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- STANFIELD, William. 2001. Teoría y problemas de Genética. Mexico: Mc Graw-Hill.
- STARR, Cecie y Ralph TAGGART. 2004. Biología 10ed. México: Thompson.
- STILLMAN, B. 2008. DNA polymerases at the replication fork in eukaryotes. Mol. Cell 30: 259-260.
- WICKELGREN, I. 2007. A healthy tan? Science 315: 1214-1216.

YANG, W and R. WOODGATE. 2007. What a difference a decade makes: insights into translesion DNA



## AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

---

### INTRODUCCIÓN

El ser humano es parte integral del ambiente: bebe agua, respira aire, camina sobre tierra y se considera a sí mismo la parte más importante del entorno. En la tradición del mundo occidental, el ambiente fue creado para uso humano: para disfrutarlo, controlarlo o abusar de él, según se desee.

El hombre afecta continuamente el ambiente a través de sus decisiones y actividades con respecto a la utilización de la tierra y la energía, control de los depredadores, la guerra, la salud mundial y un sinnúmero de otros aspectos. Naturalmente, las soluciones propuestas a los problemas ambientales suelen ser conflictivas. ¿Debe permitirse la exploración de las tierras mar adentro para encontrar petróleo, aun cuando la perforación pueda destruir la belleza de la playa y matar a los organismos del océano? Considérese un río que ha atravesado la tierra durante milenios, erosionando un valle. ¿Debe utilizarse ahora para obtener energía y convertir sus aguas cristalinas en un lago apacible? En Colombia los páramos de Santurbán (Vetas, S.) y Sisavita (Cucutilla, N. S.) son fuentes de agua que alimentan importantes ríos y quebradas y a la vez poseen valiosas minas de oro; ¿deben abrirse estas áreas a la producción minera? Deben tomarse decisiones relativas a estas preguntas.

El compromiso suele determinar cómo se tratará al ambiente. Un compromiso evidente es el **uso múltiple**: el uso de un área para más de un propósito. Un bosque puede producir madera, proteger el suelo de la erosión y, al mismo tiempo, servir para acampar, montar a caballo y otras formas de diversión al aire libre. Dicha versatilidad no siempre es posible. Es muy difícil utilizar un bosque como hábitat para patos silvestres y, al mismo tiempo, como un sitio para realizar caminatas. Lo centros comerciales y los estanques para peces son incompatibles, como lo son las fábricas y las haciendas. Los aspectos silvestres de un área pueden arruinarse si se abren caminos para hacer el lugar más accesible. Con

demasiada frecuencia, el uso múltiple causa la degradación de la tierra, sin que nadie quede satisfecho.

## 8.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

El ambiente es un término difícil de definir con exactitud. Ambiente significa “naturaleza” o “los alrededores” o “el entorno” o “todos los factores del exterior que se relacionan con la vida”. El uso de este término es complicado por el hecho de que existen ambientes sociales, químicos, psicológicos y económicos, así como ecológicos. Gran parte del conocimiento básico que se tiene del ambiente ecológico proviene de personas que vivieron en contacto estrecho con la tierra, como indígenas, agricultores, naturalistas y exploradores. Muchas de sus observaciones fueron bastante objetivas. Por ejemplo, los indios del Amazonas tuvieron un conocimiento profundo de las guaridas y hábitos de los animales, usos de las plantas y eventos asociados con los cambios climáticos.

Sin embargo, numerosas observaciones iniciales han resultado erróneas al ser examinadas por la ciencia moderna. Actualmente se considera que muchos de los primeros “hechos” científicos son superstición o tradición. Por ejemplo; si un bebé tiene fiebre alta, sudoración excesiva, vómito, y diarrea con seguridad le prendieron “mal de ojo”.

Otros aspectos de la tradición son más serios en lo que respecta a sus consecuencias e información errónea; por ejemplo, el consomé de buitre cura el cáncer. Así, una observación no es necesariamente precisa solo porque siempre se le ha tenido por cierta. La necesidad de valorar los hechos y someter las opiniones largamente sostenidas al escrutinio científico es una regla básica fundamental de la biología (Odum, 1995).

**Ecología.** Varios términos relacionados con el ambiente son muchos más definitivos que el mismo término “ambiente”. Uno de ellos es el de **ecología**. Definida en términos simples, la ecología es la ciencia que estudia las interrelaciones entre los organismos y su ambiente. Estas interacciones existen entre el suelo, el aire, el perro, una garrapata, una hoja de mango, cualquier

organismo que guarde relaciones con otras entidades.

La ecología se estudia desde diversos puntos de vista:

- ❖ Estudio del organismo individual para determinar los factores que afectan su existencia.
- ❖ Estudios de las unidades ecológicas para identificar y cuantificar las fuerzas interactuantes.
- ❖ Búsqueda del conocimiento básico de la naturaleza para obtener un amplio conocimiento de sus complejidades.

Ninguna tarea es tan fácil o directa como podría parecer. Todos los procedimientos enfrentan problemas al analizar la interacción que existe en el ambiente, dado que las situaciones siempre están cambiando. Además, muchas relaciones sutiles entre plantas, animales, atmósfera y agua son alteradas por el solo proceso de observar o extraer muestras o realizar pruebas (Sarmiento, 2004).

## 8.2 ECOSISTEMAS

La unidad fundamental de la ecología es el **ecosistema**. El ecosistema incluye todo lo que se encuentre dentro de un área determinada, microbios, plantas, animales, atmósfera, agua, minerales disueltos, desechos. Suele ser una unidad independiente; sin embargo, debe recibir energía del exterior, por lo general, la luz del sol. Los ecosistemas varían en tamaño, desde un pequeño acuario hasta una selva que cubre miles de hectáreas.

Los grandes ecosistemas como los desiertos y praderas se denominan **biomas**. La biosfera con mareas, vientos, océanos, montañas, desiertos, árboles, monos, etc, es la suma total de los ecosistemas de la tierra. Las actividades humanas tienen un efecto tanto negativo como positivo sobre los ecosistemas de cualquier tamaño; por esta vulnerabilidad, los ecólogos hablan a veces del **ecosistema frágil**.

Examinar un estanque puede ayudar a aclarar el término “ecosistema”. Un estanque incluye organismos vivos: ranas, tortugas, insectos, peces, bacterias, plantas acuáticas, etc., así como minerales, gases disueltos y vegetación en descomposición. La energía del sol es capturada a través de la fotosíntesis por plantas verdes como el patito y algunos tipos de plancton (formas microscópicas de vida acuática, incluyendo algas y protozoarios). Las interrelaciones en un estanque son complejas y variables: la cantidad de oxígeno disuelto en el agua afecta la supervivencia de los peces, lo cual a su vez afecta la velocidad de su descomposición, la disponibilidad de los nutrientes y otros factores en secuencias casi ilimitadas. Éstas son solo relaciones evidentes (Sutton y Harmon, 1985).

**Estructura del ecosistema.** Todos los ecosistemas están constituidos por factores bióticos (que tienen vida) y los factores abióticos (sustancias inertes). Los factores bióticos son: organismos productores, consumidores y descomponedores.

- ❖ **Productores:** generalmente plantas verdes; convierten la luz solar en otras formas de energía a través de la fotosíntesis. Gran parte de esta energía se almacena como azúcares, almidones o grasas que posteriormente son utilizados por las plantas u otros organismos del ecosistema.
  
- ❖ **Consumidores:** generalmente animales; existen a expensas de los productores. Los herbívoros (comedores de plantas) se alimentan directamente de los productores: las vacas se alimentan de pastos, los conejos del ramio y el venado del follaje. Los carnívoros (comedores de carne) satisfacen sus necesidades de energía mediante la captura de herbívoros y otros carnívoros.
  
- ❖ **Descomponedores:** insectos, bacterias, hongos; viven a expensas tanto de productores como de consumidores. Los descomponedores son importantes en el ecosistema de vida-muerte-descomposición-vida. Mediante la acción de los organismos descomponedores, los organismos muertos son reducidos a componentes químicos básicos que pueden ser reciclados formando parte de los organismos vivos.

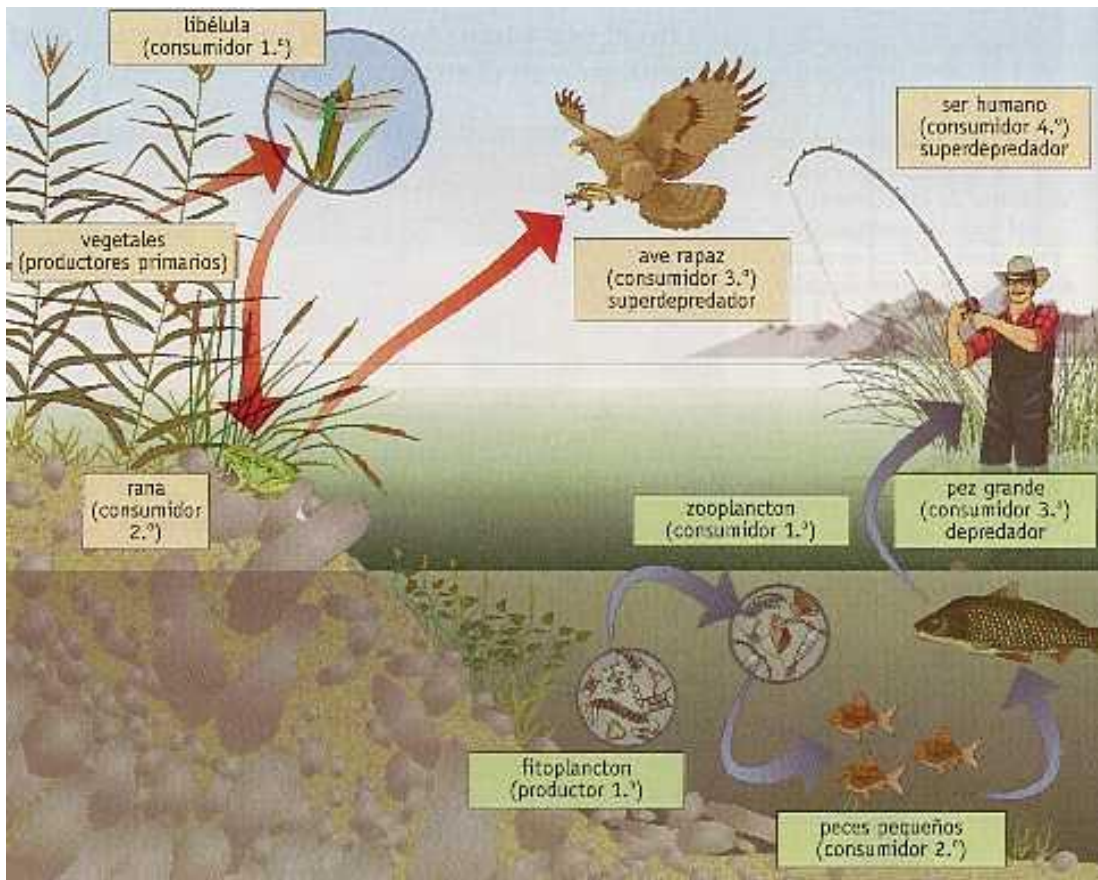
Muchos de estos componentes básicos aparecen como detritus o residuos orgánicos en varias etapas de descomposición. El detritus tiene una gran área de superficie y está saturado con muchos microbios y bacterias. Especies como protozoarios, tortugas, peces y gusanos pueden alimentarse de bacterias en lugar de materia orgánica. En cualquier caso su actividad agota rápidamente la cantidad de oxígeno.

**Factores abióticos:** minerales, humus, gases, sustancias inorgánicas, sales y agua; son sustancias inertes a partir de las cuales se sintetiza la materia viva. Los índices de reciclaje de los compuestos abióticos varían ampliamente entre los ecosistemas. Ver Figura 8.1. A veces como en las profundidades del océano, los compuestos abióticos se acumulan en grandes cantidades. Otras veces, como en la arena del desierto, están virtualmente agotados (Turk *et al*, 2007).

### 8.2.1 Cadenas tróficas

A medida que las sustancias son ingeridas, digeridas y transportada a través de los niveles de un ecosistema, siguen vías llamadas **cadenas tróficas**. Por ejemplo, en la cadena trófica de un estanque, las sardinas (consumidores) comen algas (productores); a su vez, las tortugas se comen las sardinas. En este caso, las tortugas son consumidores secundarios: consumidores que comen a otros consumidores. Los organismos muertos son degradados por bacterias (descomponedores) para formar parte de la acumulación de nutrientes (compuestos abióticos) que finalmente son reciclados en nuevas sustancias vivas.

La cadena trófica de un estanque es en realidad más compleja de lo que indica el ejemplo anterior: las tortugas comen plancton, así como también peces, y los mosquitos, plancton y detritus proporcionan fuentes alimentarias alternativas tanto para los peces como para las tortugas. Las redes complejas de cadenas tróficas se denominan a veces **redes tróficas** por que existen muchos puntos interrelacionados.



a)



b)

**Figura 8.1** Componentes de un ecosistema a). Factores bióticos b). Factores abióticos.



Una gran cantidad de energía escapa a lo largo de la cadena trófica en forma de calor liberado a la atmósfera por los diversos organismos. (El calor es el resultado de las reacciones químicas asociadas a la actividad biológica.) En realidad se estima que por esta pérdida de energía, un consumidor obtiene (cuando mucho) solo el 10 por ciento de la energía potencial alimentaria contenida en su presa. Asimismo, un consumidor secundario obtiene solo el 10 por ciento de la energía potencial de su captura. Así, la tortuga que se alimenta de sardinas obtiene solo cerca del 1 por ciento (el 10 por ciento del 10 por ciento) de la energía disponible en las algas inicialmente. La presencia de consumidores secundarios y terciarios sirve para incrementar la pérdida de energía de un ecosistema (Chirivi, 2004).

Las proteínas pueden concentrarse a medida que pasan a lo largo de una cadena trófica. El hombre saca ventaja de esta concentración biológica cada vez que pesca peces, camarones o moluscos. Desafortunadamente, algunos plaguicidas, nutrientes y otros componentes como el mercurio también tienden a concentrarse a medida que pasan por la cadena trófica. Los tejidos corporales de moluscos y ostras pueden contener dos millones de veces la cantidad de mercurio encontrado en el agua de mar normal. Asimismo, los insecticidas se acumulan a medida que los insectos envenenados son ingeridos por las aves.

**Hábitat.** El hábitat es un área definida que posee los diferentes componentes ambientales necesarios para un organismo: humedad, luz, refugio, alimento y es el sitio en el cual pasa su vida.

El hábitat de una rana incluye los troncos, plantas acuáticas del estanque donde se alimenta, aparea, reproduce y muere. La necesidad de un organismo varía conforme madura. Por ejemplo, los mosquitos juveniles viven en el agua, de donde absorben los nutrientes disueltos. Los mosquitos adultos viven en tierra y en el aire, alimentándose de sangre (si son hembras) o de la savia de la plantas (si son machos).

Así, tanto los ambientes acuáticos como los terrestres proporcionan un hábitat a los mosquitos, pero las necesidades del mosquito son bastantes distintas en diferentes etapas de su ciclo de vida. De alguna manera, los animales eligen y reconocen su hábitat; varios indicadores les demuestran cuando un hábitat es aceptable. Las señales clave para las aves podrían ser factores como resguardo del viento, disponibilidad de arbustos o la presencia de ramas elevadas para el canto. Los ornitólogos que trabajan en los desiertos australianos han encontrado que la presencia de vegetación verde, que aparece solo ocasionalmente, estimula las actividades de construcción del nido en aves del desierto. El hombre puede ayudar a facilitar la existencia de los animales silvestres. En efecto, mantener y

mejorar el hábitat es una parte crítica de la mayoría de los programas de control de la fauna silvestre (Sarmiento, 2004). Ver Figura 8.2.



**Figura 8.2** El hábitat normal de un oso polar es la región ártica.

**Nicho.** El nicho se refiere a la actividad que tiene un organismo dentro del ecosistema. Algunos ecologistas han sugerido que el hábitat es la casa de un organismo y el que nicho es su ocupación. Los productores, los consumidores y descomponedores ocupan diferentes nichos debido a que cumplen diferentes funciones dentro del ecosistema. Las ranas y las tortugas, ambos consumidores, ocupan el mismo hábitat, pero diferentes nichos puesto que comen diferentes alimentos. Los conejos y los jabalíes ocupan el mismo ecosistema del bosque, pero tiene diferentes hábitats y diferentes nichos; los conejos son herbívoros, los jabalíes omnívoros (comen cualquier alimento).

En general los ecólogos están de acuerdo en que solo una clase de organismo puede ocupar un nicho dado; sin embargo, la mayoría de los hábitats tiene muchos nichos que se sobreponen. Por ejemplo, dos clases de aves insectívoras pueden vivir en el mismo árbol, una alimentándose en la copa y la otra en las ramas inferiores del árbol. Otras dos clases de aves pueden coexistir si una se alimenta durante el crepúsculo y las otras durante las primeras horas de la mañana. Si dos organismos compiten por el mismo nicho, es muy probable que, a la larga uno de ellos sea excluido (Kormandy, 1993).

**Factores limitantes.** La mayoría de las plantas y animales dependen de factores ambientales para su supervivencia, entre los cuales se incluyen luz, agua, temperatura y suelo. La disponibilidad de estos factores es relativa. Por ejemplo, la

luz del sol en un bosque no está distribuida uniformemente: algunos árboles reciben luz solar plena, otros están sombreados. Existen desigualdades similares en la distribución el agua y los nutrientes del suelo, y el grado de daño por el pastoreo o la erosión. En un potrero la luz solar puede estar en exceso y el agua ser adecuada, pero puede haber poco suministro de nitrógeno en el suelo. En este caso, el crecimiento de las plantas disminuiría por la deficiencia de nitrógeno, aun cuando fueran satisfechos los otros requerimientos, la falta de nitrógeno sería un factor limitante en el crecimiento de las plantas.

Un factor que sea limitante en una situación no es automáticamente limitante en otra. La escasez de la luz limita el crecimiento de los árboles en el caso de una selva tropical. Sin embargo muchos bejucos y otras enredadoras prosperan casi en la oscuridad. Los factores limitantes siempre pueden aparecer en un momento dado. El amontonamiento y la competencia por el agua y el oxígeno surgirán incluso en un ecosistema tan simple como una cucharada de levadura. Las condiciones iniciales pueden parecer ideales en suma pero, en un momento dado, pueden presentarse deficiencias. Un factor limitante común para las plantas tropicales es la disponibilidad de agua para satisfacer las exigencias metabólicas; si no hay riego accesible, las plantas dependen de las épocas lluviosas para lograr un periodo de crecimiento eficaz.

Existen umbrales de tolerancia tanto máxima como mínima; exceder cualquier nivel puede ocasionar que un organismo o el ecosistema sufran mayores daños. Algunas plantas quedan anegadas durante las inundaciones; otras no son capaces de sobrevivir a menos que haya agua estancada. Así, tanto “demasiado” como “muy poco” son factores limitantes. En situaciones reales, es raro encontrar un solo factor limitante. En la práctica varios factores limitantes producen un resultado combinado que difiere de cualquier efecto individual (Pringle, 1996).

### **8.3 FUENTES DE ENERGÍA ACTUALES**

Las fuentes de energía son productos naturales más o menos complejos de los que el ser humano extrae energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad. Por ejemplo: el agua, el carbón.

Desde la prehistoria, cuando la humanidad descubrió el fuego para abrigarse y para cocinar los alimentos, pasando por la Edad Media en la que construía molinos de viento para moler el trigo, hasta la época moderna en la que se puede obtener energía eléctrica fisionando el átomo, los humanos han buscado incesantemente fuentes de energía que satisfagan sus necesidades primarias.

Las fuentes de energía más utilizadas han sido los combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas (McMullan, 2006).

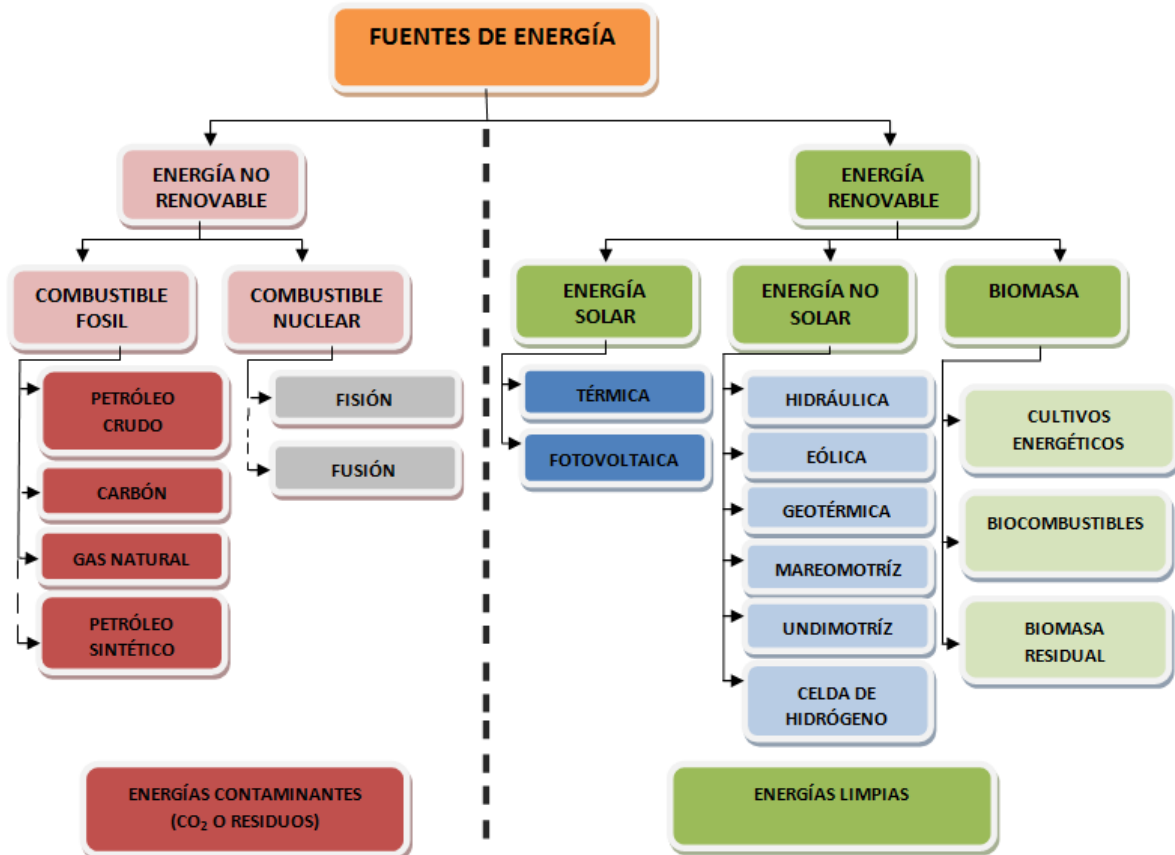
El carbón para activar las máquinas de vapor tan utilizadas en los siglos XIX y XX en buques y locomotoras, el petróleo y sus derivados necesarios en la industria automotriz.

Se evidencia que el mundo enfrenta un aumento considerable del consumo de energía, en particular en los países tercermundistas donde el crecimiento poblacional es alto, pero las expectativas individuales de mejoramiento económico son menores. La producción de energía trae consigo la consecuencia inevitable de perturbaciones ambientales, como la destrucción del bosque para suministrar madera a las personas del mundo en desarrollo, o la contaminación atmosférica que acompaña la generación de electricidad en las plantas que usan carbón como combustible. Los problemas ambientales crecen a medida que las necesidades de energía aumentan.

### **8.3.1 Energía no renovable y renovable**

Las energías no renovables como el carbón, aprovechan recursos naturales cuyas reservas disminuyen con la explotación, lo cual las convierte en fuentes de energía decadentes, ya que sus reservas se reducen drásticamente.

En la Figura 8.3 Se muestran las fuentes de energía más utilizadas en el mundo



**Figura 8.3** Clasificación de las fuentes de energía.

Durante el siglo XX, el consumo anual de energía primaria suministrada de forma comercial en el mundo aumentó más de diez veces. Parte del incremento se debió al crecimiento de aproximadamente 2.5 veces la población mundial durante ese periodo. Otra causa importante del aumento en el consumo de energía fue una mayor mecanización, en particular en el mundo industrializado.

La madera sirvió como combustible predominante hasta 1875, cuando comenzó a ser reemplazada por el carbón. La contribución porcentual del carbón a la provisión mundial de energía primaria alcanzó su máximo unos 40 años más tarde, cuando comenzó a declinar a medida que el petróleo y el gas natural adquirieron mayor importancia. Actualmente hay quienes piensan que el petróleo ya dejó de ser el máximo contribuyente a la producción mundial de energía.

El permanente uso de maquinaria industrial se facilitó durante el siglo XX por el rápido desarrollo de los motores de combustión interna y el suministro de combustible líquido para los mismos por medio de refinados sistemas de transporte, refinación y distribución. El creciente consumo de productos derivados del petróleo ha dado origen a intensivos programas mundiales encaminados a la búsqueda de depósitos de petróleo crudo y gas natural. La mayor parte de los países que requieren estas fuentes no cuentan con un suministro doméstico significativo y deben recurrir a otros países para obtenerlos. Este desequilibrio entre suministro y demanda de combustibles líquidos y gaseosos constituye la base de un grave problema de abastecimiento de energía (Henry y Heinke, 1999).

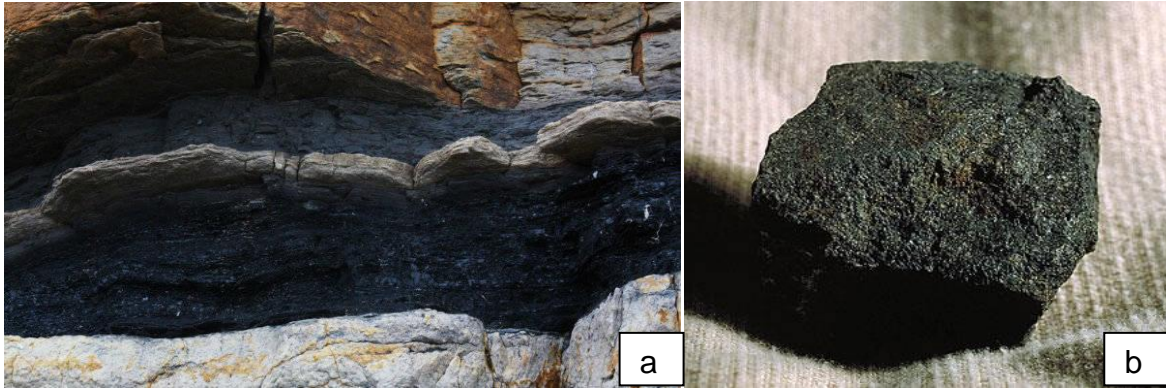
### 8.3.2 Recursos energéticos no renovables.

**Combustibles fósiles.** Son inmensos depósitos de restos de organismos que vivieron hace millones de años y que se fosilizaron formando hidrocarburos o carbón.

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno y por acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias este material quedó atrapado y formó moléculas con enlaces de alta energía.

La energía más utilizada en el mundo es la energía fósil. Si se considera todo lo que está en juego, es de suma importancia medir con exactitud las reservas de combustibles fósiles del planeta. Se distinguen las “reservas identificadas” aunque no estén explotadas, y las “reservas probables”, que se podrían descubrir con las tecnologías futuras. Según los cálculos, el planeta puede suministrar energía durante 40 años más (si sólo se utiliza el petróleo) y más de 200 (si se sigue utilizando el carbón) (Lowson, 2000).

**Carbón.** El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono y con cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno y utilizada como



**Figura 8.4** (a.) Veta de carbón asociada con otros minerales. (b.) Roca de carbón mineral.

combustible fósil. La mayor parte del carbón se formó durante el período Carbonífero (hace 359 a 299 millones de años).

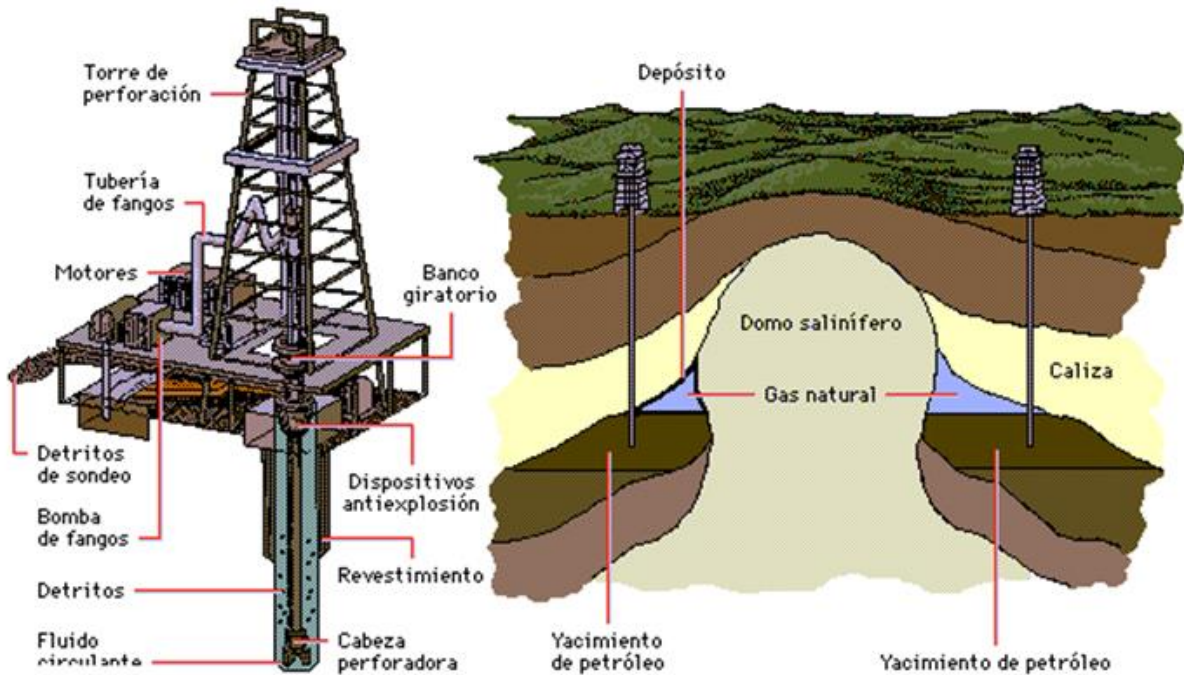
El carbón se origina por la descomposición de vegetales terrestres que se acumulan en zonas pantanosas, lagunares o marinas, de poca profundidad. Ver Figura 8.4. Los restos vegetales se van acumulando en el fondo de una cuenca y quedan cubiertos de agua y, por lo tanto, protegidos del aire, que los degradaría. Comienza una lenta transformación por la acción de bacterias anaerobias, un tipo de microorganismos que no pueden vivir en presencia de oxígeno. Con el tiempo se produce un progresivo enriquecimiento en carbono. Posteriormente pueden cubrirse con depósitos arcillosos, lo que contribuirá al mantenimiento del ambiente anaerobio, adecuado para que continúe el proceso de carbonización. Se estima que una capa de carbón de un metro de espesor proviene de la transformación por diferentes procesos durante la diagénesis (\*) de más de diez metros de limos carbonosos.

En las cuencas carboníferas las capas de carbón están intercaladas con otras capas de rocas sedimentarias como areniscas, arcillas, conglomerados y, en algunos casos, rocas metamórficas como esquistos y pizarras (National Coal Board, 2004).

**Petróleo.** El petróleo (del griego: πετρέλαιον, "aceite de roca") es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua. También se conoce como petróleo crudo o simplemente crudo. Se produce en el interior de la Tierra, por transformación de la materia orgánica acumulada en

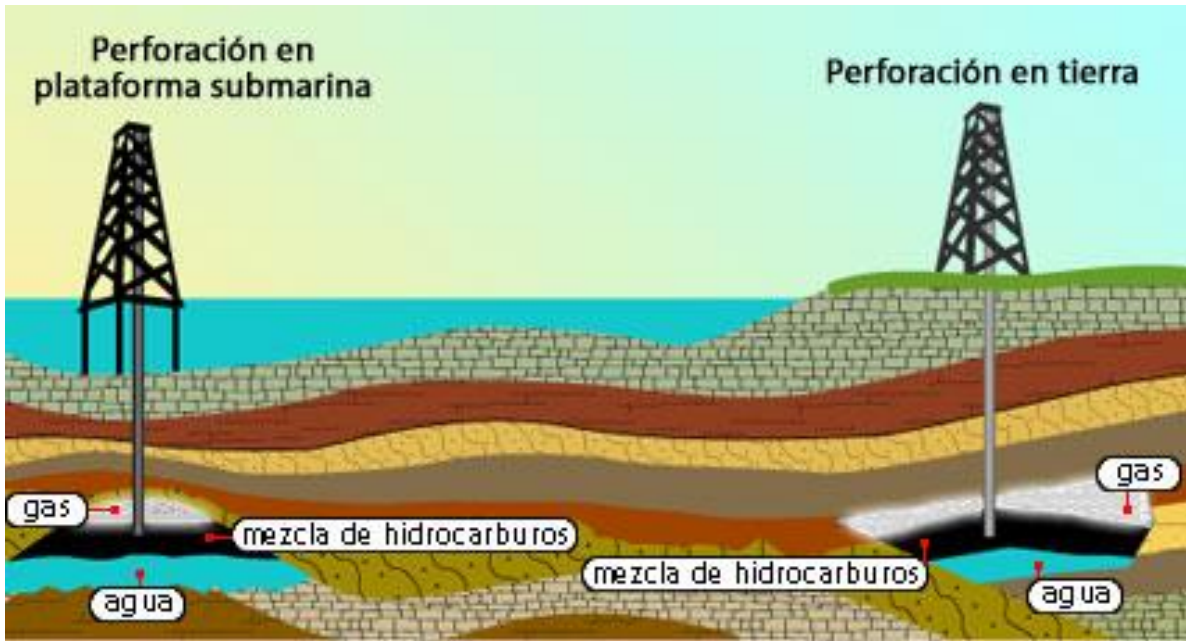
sedimentos del pasado geológico y puede acumularse en trampas geológicas naturales, de donde se extrae mediante la perforación de pozos.

(\*) **Diagénesis:** Proceso de formación de una roca sedimentaria compacta a partir de sedimentos sueltos que sufren un proceso de compactación

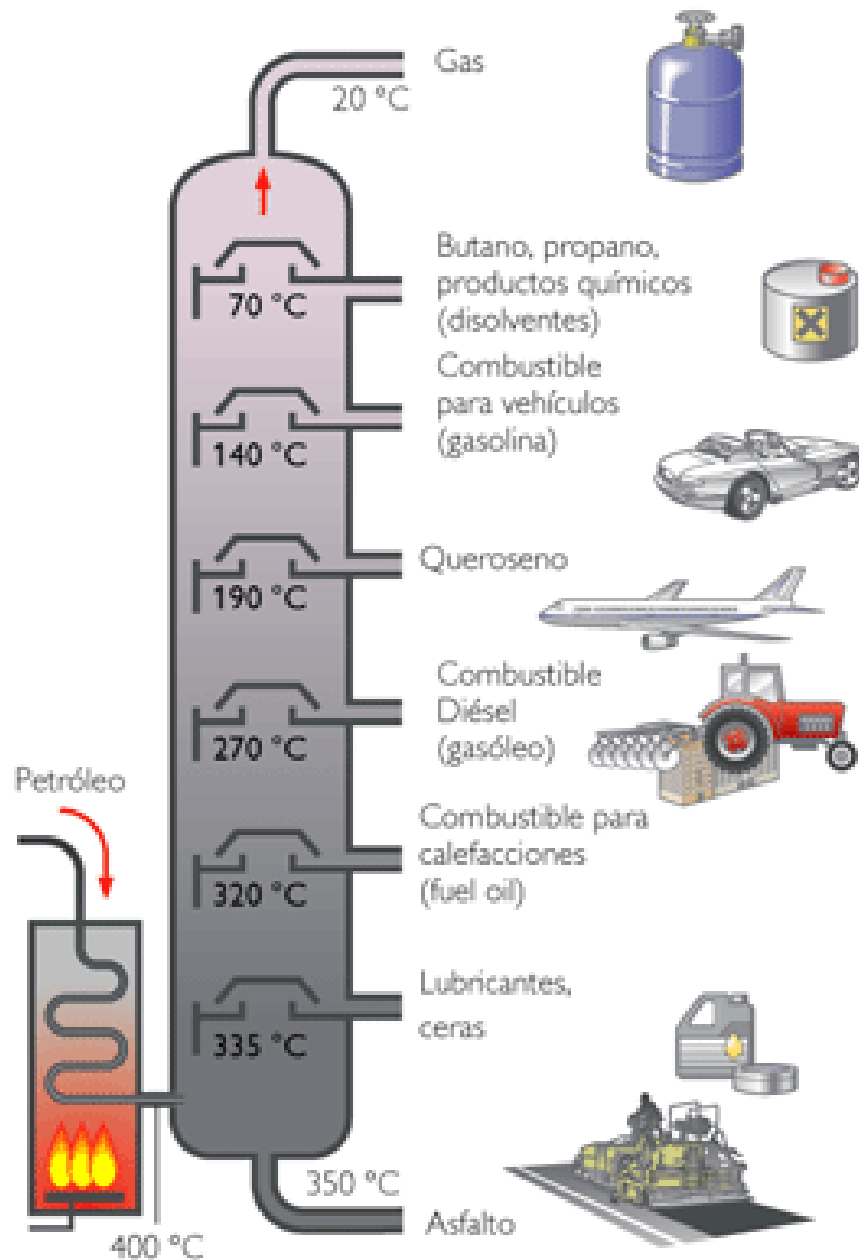


**Figura 8.5** Corte frontal de un yacimiento de petróleo junto con los equipos de extracción.





**Figura 8.6** Capas de rocas asociadas con los yacimientos de petróleo.



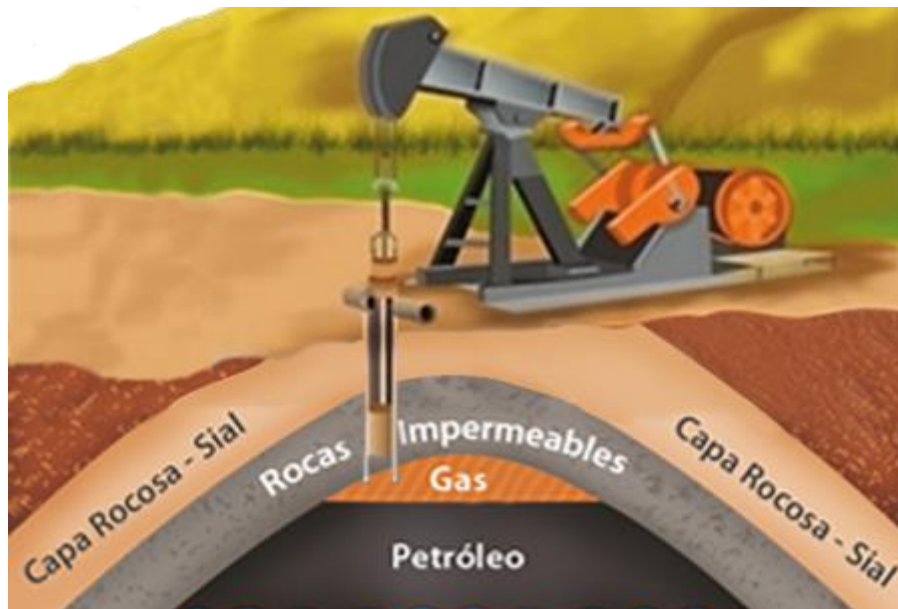
**Figura8.7** Principales productos derivados del petróleo.

En condiciones normales es un líquido bituminoso (semejante al betún) que puede presentar gran variación en diversos parámetros como color y viscosidad (desde amarillentos y poco viscosos como la gasolina hasta líquidos negros tan viscosos que apenas fluyen), densidad (entre 0,66 g/ml y 0,95 g/ml), capacidad calorífica, etc. Estas variaciones se deben a la diversidad de concentraciones de los hidrocarburos que componen la mezcla.

Es un recurso natural no renovable y actualmente también es la principal fuente de energía en los países desarrollados. El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural, en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre (Henry y Heinke, 1999).

**Gas natural.** El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases y componentes ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo (acumulación de plancton marino) o en depósitos de carbón.

Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, ácido sulfhídrico, helio y mercaptanos. Ver Figura 8.8.



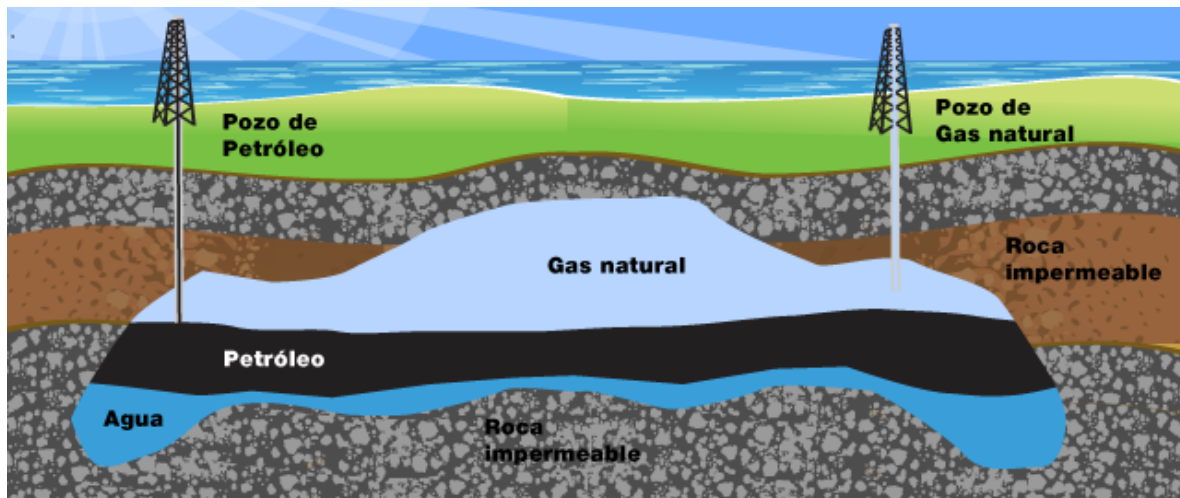
**Figura 8.8.** Vista frontal de un yacimiento de gas natural.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales - gas de pantanos) en las plantas de tratamiento de estos

restos (Biodigestores, plantas de procesamiento de basuras, de desechos orgánicos animales, etc.). El gas obtenido así se llama **biogás**.

Algunos de los gases que forman parte del gas natural cuando es extraído se separan de la mezcla porque no tienen capacidad energética (nitrógeno o CO<sub>2</sub>) o porque pueden depositarse en las tuberías usadas para su distribución debido a su alto punto de ebullición. Si el gas fuese criogénicamente licuado para su almacenamiento, el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) solidificaría interfiriendo con el proceso criogénico.

El propano, butano e hidrocarburos más pesados se separan del gas natural, puesto que su presencia puede causar accidentes durante la combustión del gas natural. El vapor de agua también se elimina porque a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente y presiones altas forma hidratos de metano que pueden obstruir los gasoductos. Los compuestos de azufre se eliminan hasta niveles muy bajos para evitar corrosión y olores perniciosos, así como para reducir las emisiones de compuestos causantes de lluvia ácida (Environment Canada, 1984).

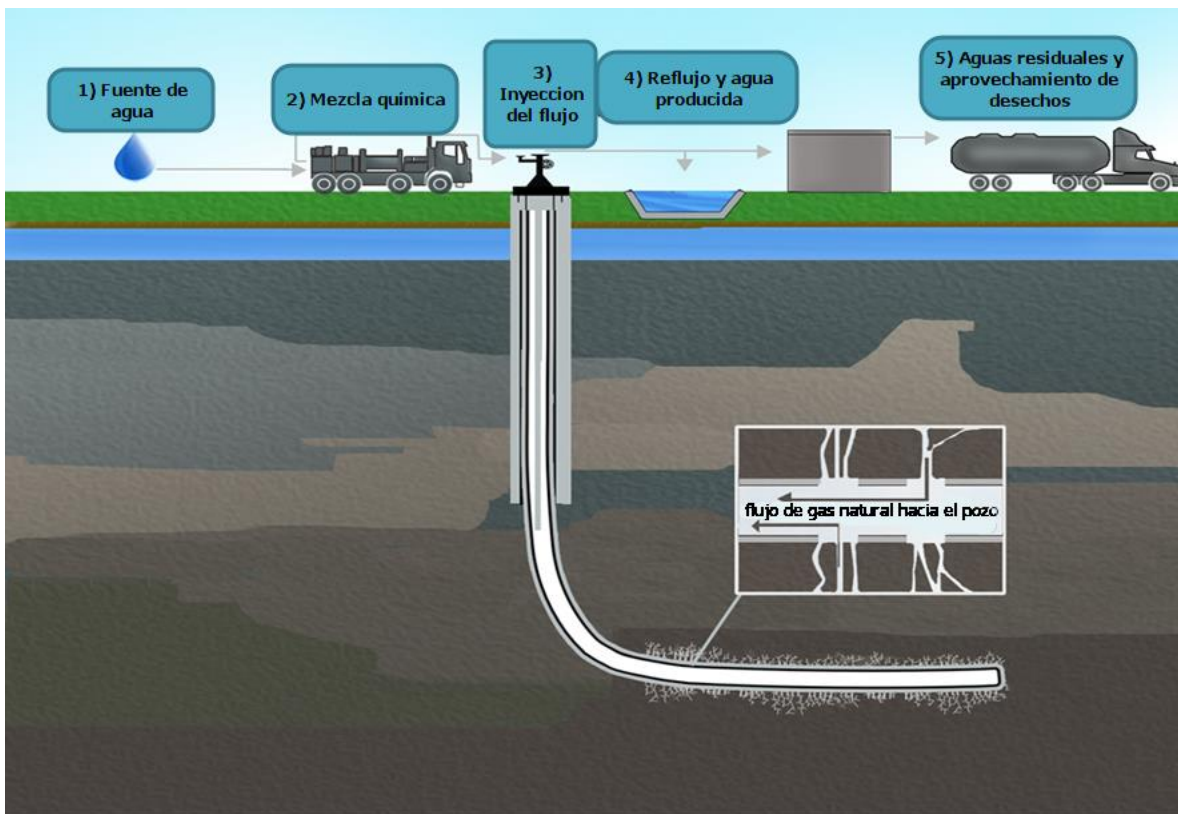


**Figura 8.9** Cortes de yacimiento de petróleo y de gas natural.

Para uso doméstico, al gas natural, se le añaden trazas de compuestos de la familia del mercaptano entre ellos el metil-mercaptano, para que sea fácil detectar una fuga de gas y evitar su ignición espontánea. Ver Figura 8.9.

**Petróleo sintético.** También conocido con el nombre de **Petróleo de esquistos bituminosos o shale oil**, es un petróleo no convencional producido a partir de esquistos bituminosos. El esquisto bituminoso, o "esquisto pirobituminoso", es una roca sedimentaria, normalmente arcillosa, impregnada de materiales orgánicos como bitumen y querógeno, que se descompone mediante pirólisis, hidrogenación o disolución térmica y produce petróleo y gas, y deja un residuo sólido que contiene carbono. El esquisto es considerado, mundialmente, la mayor fuente potencial de hidrocarburos.

La existencia de grandes cantidades de hidrocarburos como petróleo y gas natural, atrapadas en capas de roca sedimentaria, se conoce desde hace muchos años. Sin embargo, el problema hasta ahora ha sido encontrar formas lo suficientemente rentables para extraer estos depósitos.



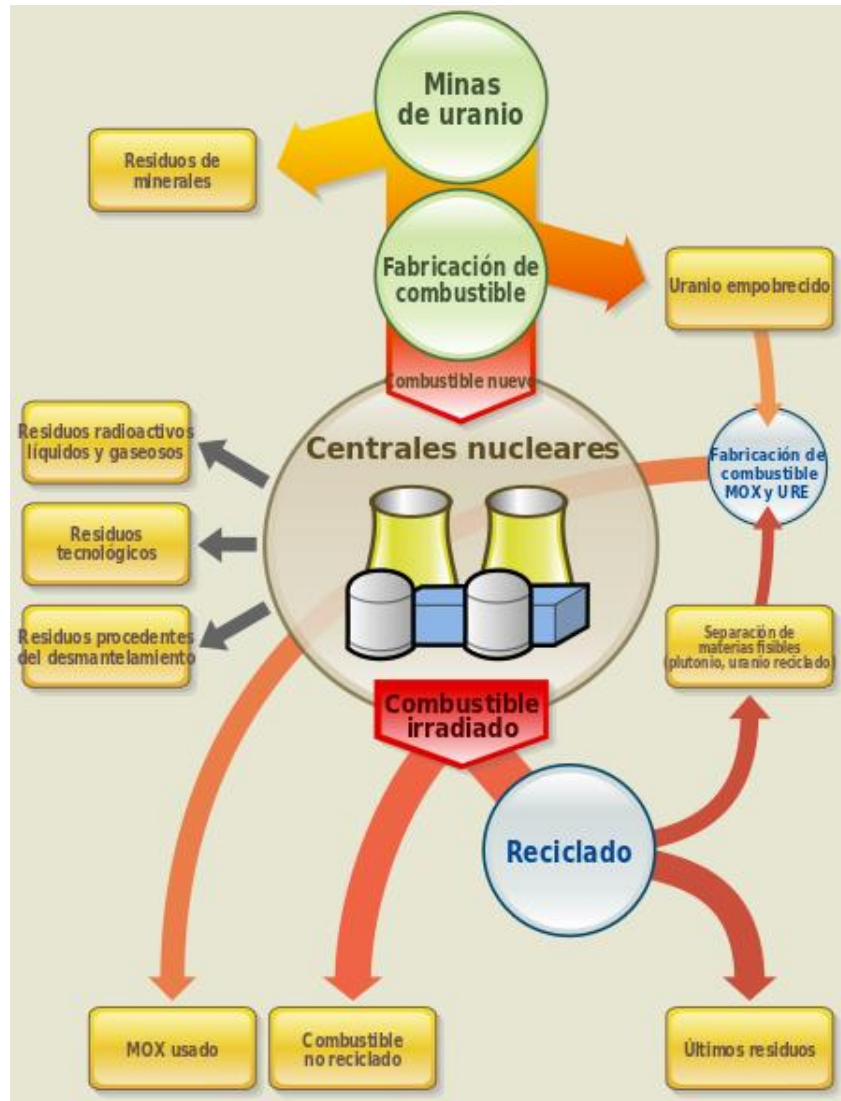
**Figura 8.10** Yacimientos de esquistos bituminosos de donde se extrae el petróleo sintético

Así, el gas natural de esquisto se consiguió extraer por primera vez en 1825, pero la producción en cantidades comercialmente significativas no comenzó hasta 2007. Esto se consiguió gracias a una aplicación más generalizada de la perforación horizontal y la fracturación hidráulica (también conocida con el término *fracking*), una técnica que consiste en bombear grandes cantidades de agua para crear fracturas en la roca donde se almacena el gas y permitir que escape. Se pueden aplicar las mismas técnicas para extraer petróleo de las formaciones de esquisto, pero el desarrollo en este frente ha sido más lento hasta ahora que para el gas. Ver Figura 8.10.

El petróleo resultante puede ser utilizado como combustible o ser mejorado para ajustarse a las especificaciones del material que alimenta una refinería mediante el agregado de hidrógeno y la eliminación de impurezas tales como azufre y nitrógeno. Los productos refinados pueden ser utilizados para los mismos fines que aquellos obtenidos a partir del petróleo crudo.

**Combustible nuclear.** Este tipo de combustible es el que se obtiene mediante la desintegración del núcleo atómico de elementos pesados como el Uranio y Plutonio para liberar energía radiante y cinética. Ver Figura 8.11.



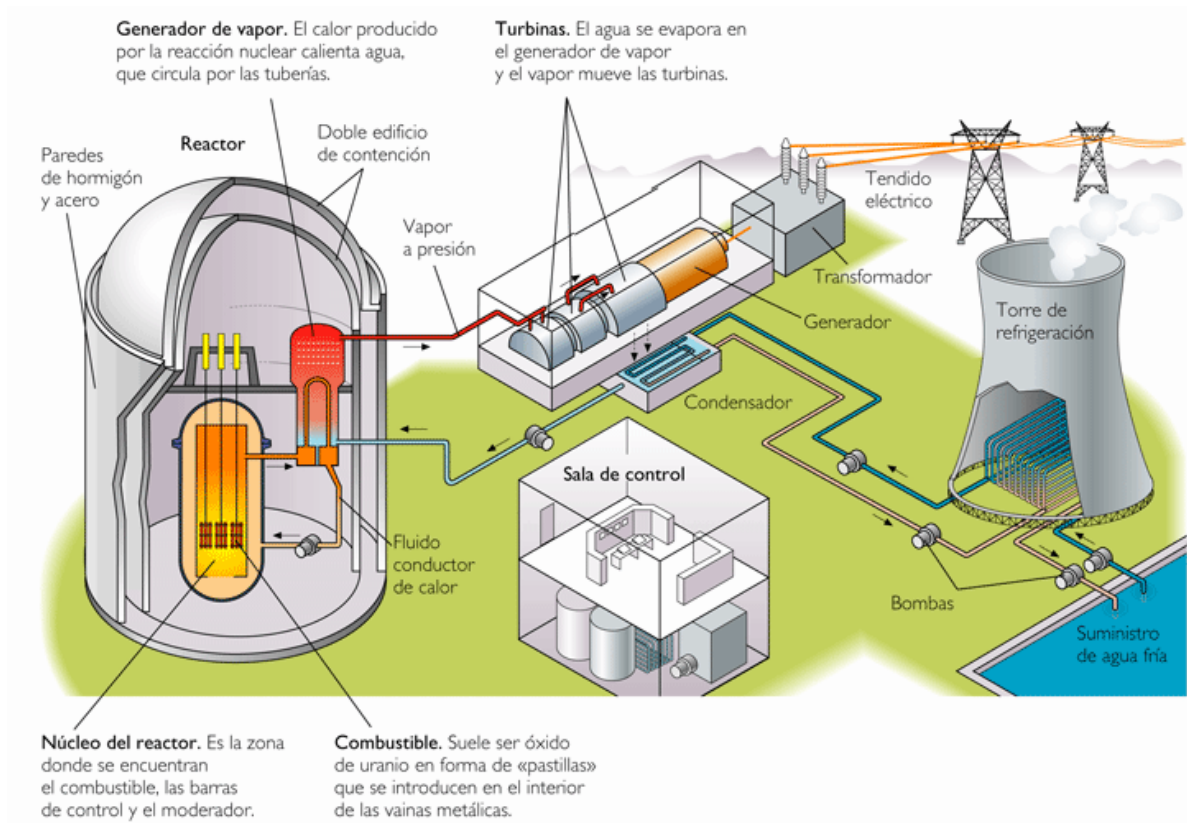


**Figura 8.11** Ciclo de la producción de energía nuclear por fisión

El proceso más utilizado y conocido es la fisión nuclear. La reacción controlada se produce en el interior de los reactores, donde se sitúan barras de material físil (principalmente Uranio-235 y Plutonio-239,) que son bombardeadas con neutrones de diferentes energías, rompiendo dos o más núcleos de estos átomos pesados, en átomos más ligeros, como el Cripton o el Bario. La diferencia de masa entre los productos iniciales y los productos finales se transforma en energía según la famosa ecuación de Einstein:  $E = m \cdot c^2$  (Bennet, 2002).

También se producen otros subproductos como neutrones, que inician reacciones en cadena al incidir sobre otros núcleos pesados, fotones (generalmente rayos gamma), partículas alfa (núcleos de Helio) y beta (electrones y positrones de alta energía).

Otro proceso nuclear que puede ser utilizado es la fusión. En dicho proceso se utilizan como combustible isótopos ligeros como el tritio y el deuterio.



**Figura 8.12.** Esquema general de un reactor que produce energía nuclear a partir de Uranio y Plutonio.

Otros elementos como el  $^{238}\text{Pu}$  se usan para producir pequeñas cantidades de energía mediante procesos de desintegración radiactiva en los generadores termoeléctricos de radioisótopos o en otros tipos de pilas atómicas.



Una consecuencia de la producción de energía nuclear es la acumulación de residuos nucleares, que pueden tardar miles de años en desaparecer y se demoran mucho tiempo en perder su efecto radiactivo.

**8.3.3 Recursos energéticos renovables.** Comprende aquellos productos que se obtienen de medios naturales en teoría inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la energía solar y no solar, la biomasa.

**Energía solar.** La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol (Brinkworth, 2002).

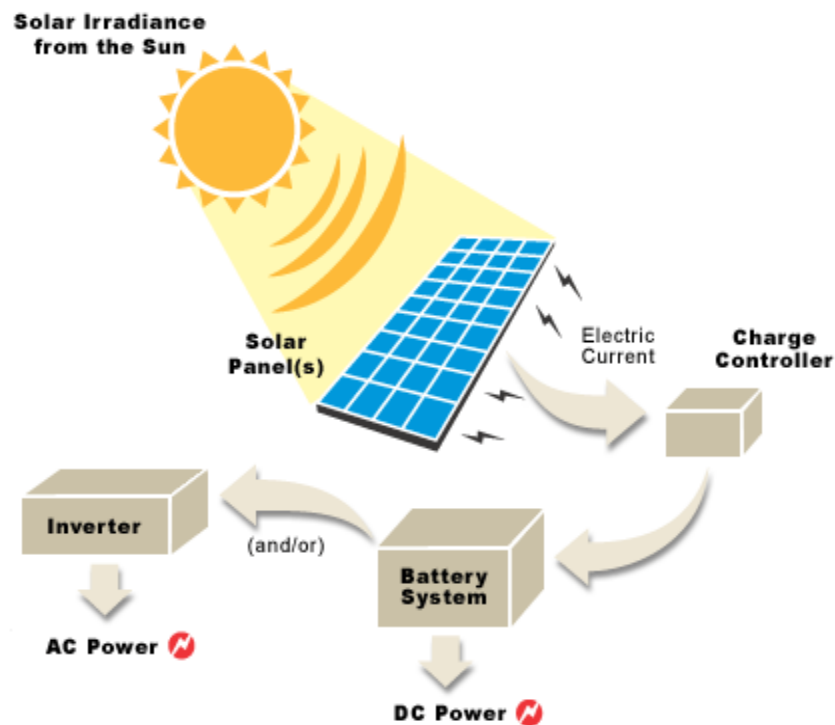
La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas **energías renovables** o **energías limpias**, tan necesarias para resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en **pasivas** o **activas** en función de la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las **tecnologías activas** incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la **arquitectura bioclimática**: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural (Master, 2004).

Inicialmente a la energía solar se le catalogó como la solución perfecta para las necesidades energéticas de todos los países debido a su universalidad y acceso gratuito. Sin embargo, para los usuarios la dificultad en la implementación de este recurso energético era el alto costo inicial que incluía la compra e instalación de

equipos (Paneles, termostato y demás) pero con el avance tecnológico actual, estos costos ha disminuido por lo que actualmente en numerosos planes urbanísticos se recurre a la energía solar para satisfacer la necesidades energéticas de la vivienda familiar así como combustible para la movilización de los automóviles. Ver Figura 8.13.

La energía solar es una de las llamadas **energías renovables**, particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde, si bien, al final de su vida útil, los paneles fotovoltaicos pueden suponer un residuo contaminante difícilmente reciclable al día de hoy (Robinson, 2006).



**Figura 8.13.** Proceso de conversión de la energía solar en energía térmica o eléctrica

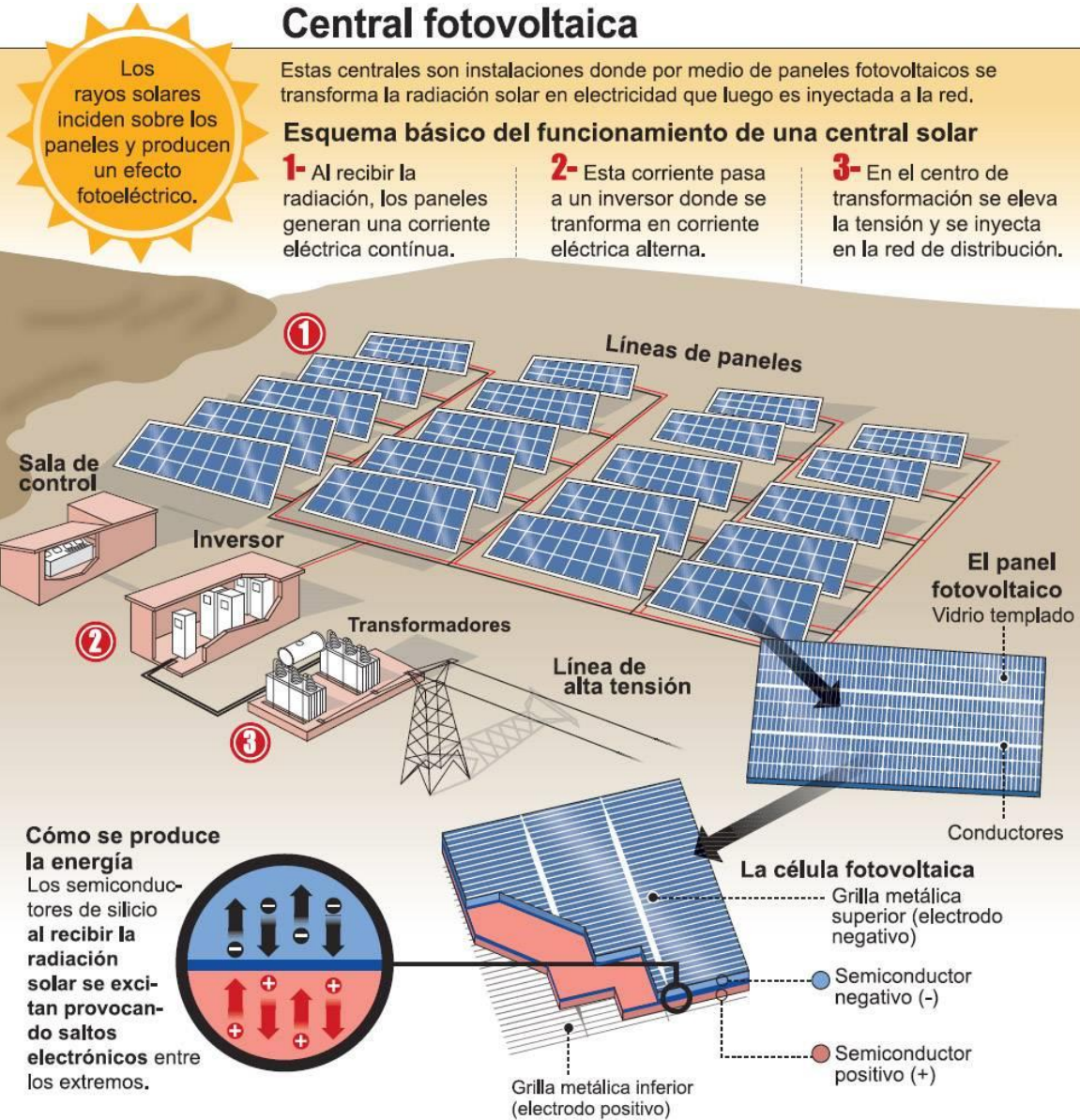
**Energía foto-voltaica.** El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad, la cual suministra energía a una batería, por ejemplo, para encender

una bombilla. La conjunción de varias células conectadas eléctricamente entre sí y montadas en una estructura de apoyo o marco, se llama módulo fotovoltaico o panel. Ver Figura 8.14.

Varios módulos pueden ser conectados unos con otros para formar un campo solar. Los módulos producen electricidad en corriente continua, pudiendo ser conectados en serie o en paralelo para conseguir el voltaje que se requiera.

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030 (Baker, 2005).

## Central fotovoltaica

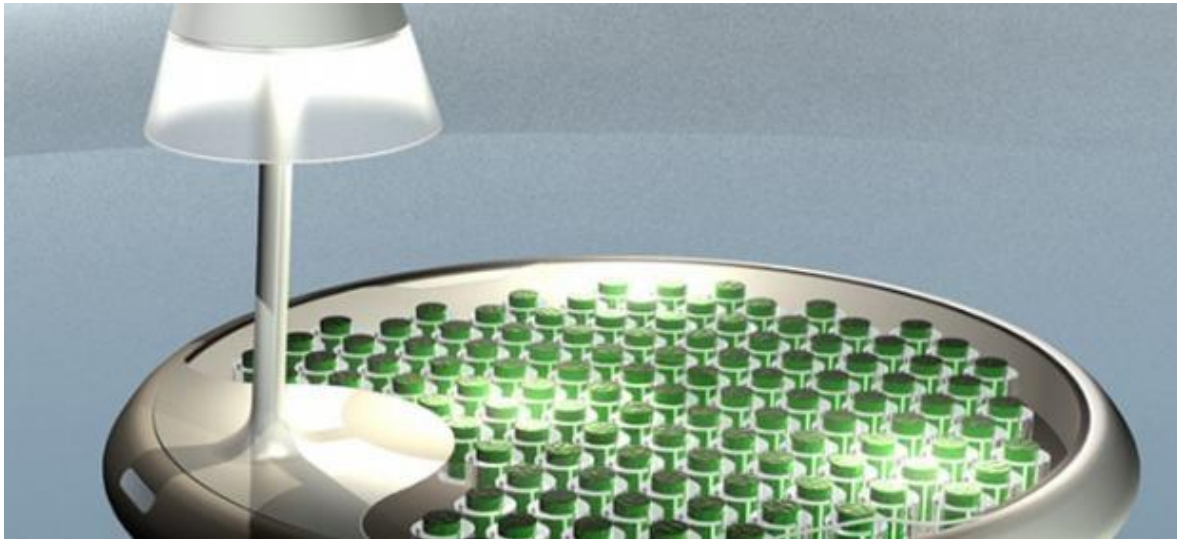


**Figura 8.14.** Diagrama que muestra el proceso que se lleva a cabo para producir energía fotovoltaica.

**Energía bio-fotovoltaica.** Este tipo de energía se fundamenta en la captura de electrones para producir electricidad. Estos electrones se generan como subproductos del metabolismo de organismos fotosintéticos como musgos y algas.

Cuando los musgos realizan la fotosíntesis, liberan ciertos productos orgánicos al suelo en el que se encuentran bacterias simbióticas que metabolizan estos

compuestos, de los que se valen para sobrevivir, a la vez que generan subproductos como los electrones. Ver Figura 8.15.



**Figura 8.15.** Producción de energía biofotovoltáica a partir de musgos

Los resultados actuales demuestran que se puede generar el potencial eléctrico necesario para alimentar artefactos pequeños como un reloj, y que se puede construir pilas de combustible, diseñadas para producir electricidad a partir de musgos vivos (Bockris, 2006).

### **Recursos renovables no solares**

**Energía hidráulica.** Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua y similares. Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua del mar, principalmente, se evapore y ascienda por el aire y se mueva hacia las regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que se mueva los álabes de una turbina engranada con un generador de energía eléctrica. Ver Figuras 8.16 y 8.17.

Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla. En caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable (Guthrie-Brown, 2007). La energía hidráulica puede transformarse a diferentes escalas. Existen desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales. Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de represas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.



**Figura 8.16.** Almacenamiento de agua mediante presa en una central hidroeléctrica (energía potencial)





**Figura 8.17.** Flujo del agua represada en la central hidroeléctrica para producir energía cinética.

**Energía mareomotriz.** La energía mareomotriz es la que se obtiene al aprovechar las mareas, mediante su empalme a un alternador. Se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica; una forma energética más segura y aprovechable. Ver Figura 8.18.

Es un tipo de energía renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el costo económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una penetración notable de este tipo de energía (Henry y Heinke, 1999).

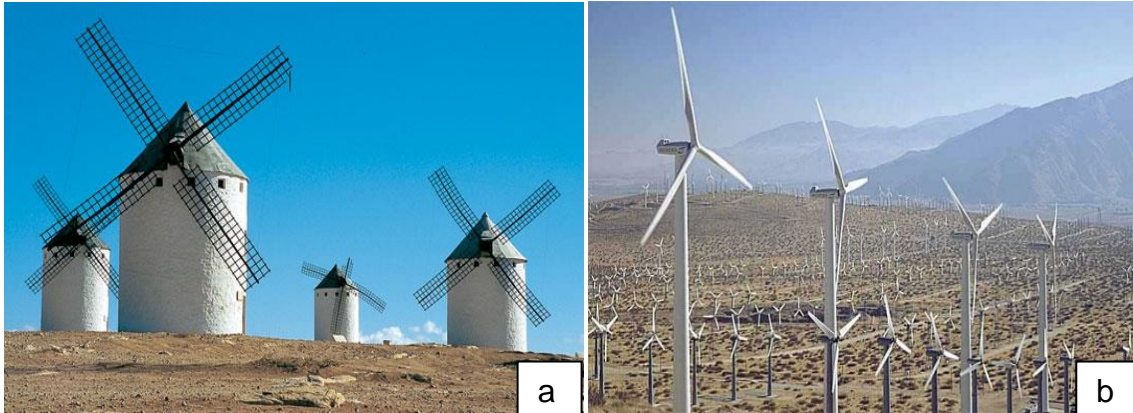


**Figura 8.18.** Aprovechamiento de las mareas para producción de energía

Otras formas de extraer energía del mar son: Energía **undimotriz**, que aprovecha la energía mecánica generada por el oleaje marino para obtener electricidad, la **energía del gradiente térmico oceánico** que resulta de la diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas del océano, **la energía de la salinidad** de las corrientes marinas o la energía eólica marina.

**Energía eólica.** Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas (Master, 2004).

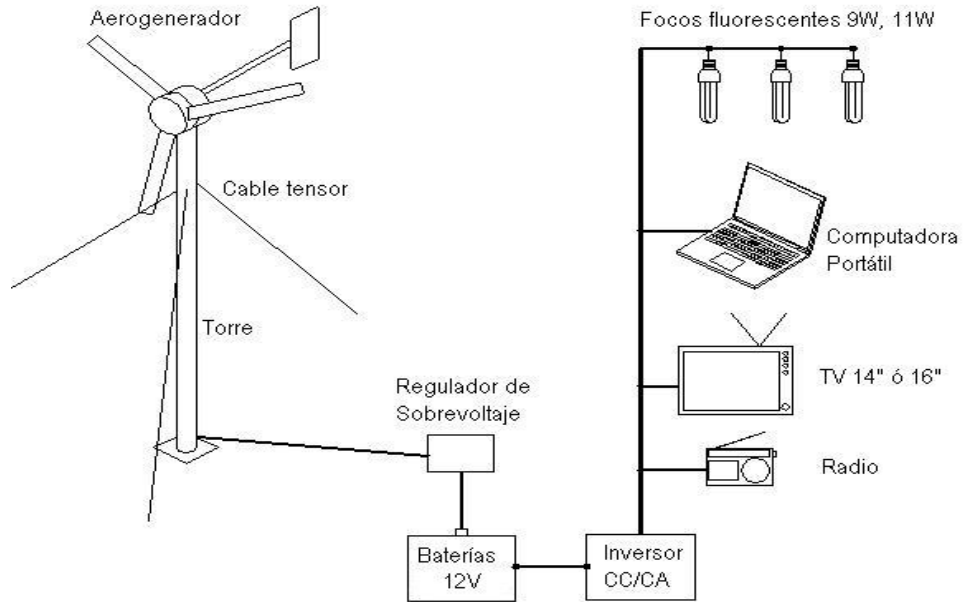




**Figura 8.19.** Desde la antigüedad la energía que produce el viento se ha utilizado para mover las aspas de los molinos (a) o para generar energía eléctrica mediante aerogeneradores (b).

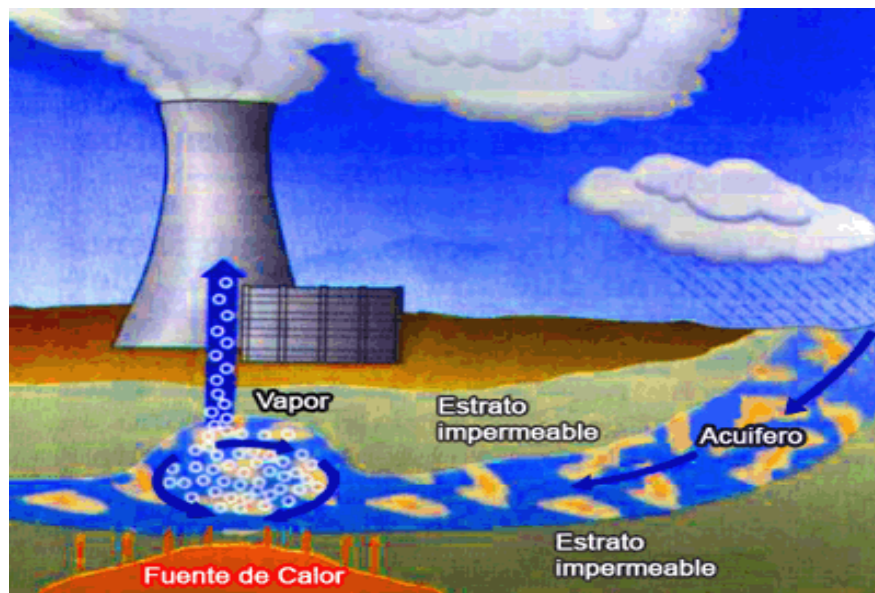
La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. Ver Figura 8.19.

En 2011 la energía eólica generó alrededor del 3% del consumo de electricidad mundial. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Su principal inconveniente es la intermitencia del viento.



**Figura 8.20.** Diagrama de un aerogenerador

**Energía geotérmica.** La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El término "geotérmico" viene del griego geo (Tierra), y thermos (calor); literalmente "calor de la Tierra".



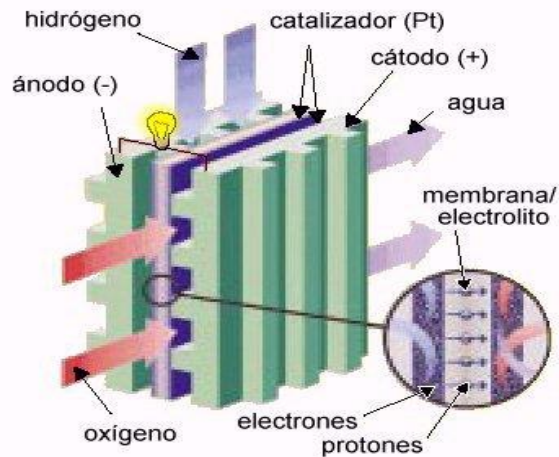
**Figura 8.21.** Generación de energía térmica a partir del calor interno de la tierra.

Este calor interno calienta hasta las capas de agua más profundas: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para calefacción desde tiempos remotos. Hoy en día, los progresos en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo. Ver Figura 8.21.



**Figura 8.22.** Géiseres en plena actividad

**Celdas de hidrógeno.** Las celdas de hidrógeno (*fuel cells*) generan electricidad de manera silenciosa, eficiente y sin contaminación. Contrariamente a las fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles, el único producto resultante es el agua. De manera muy técnica, la celda de hidrógeno se puede describir como un dispositivo conversor de energía electroquímica: convierte el oxígeno y el hidrógeno en agua generando energía eléctrica. Ver Figura 8.23.

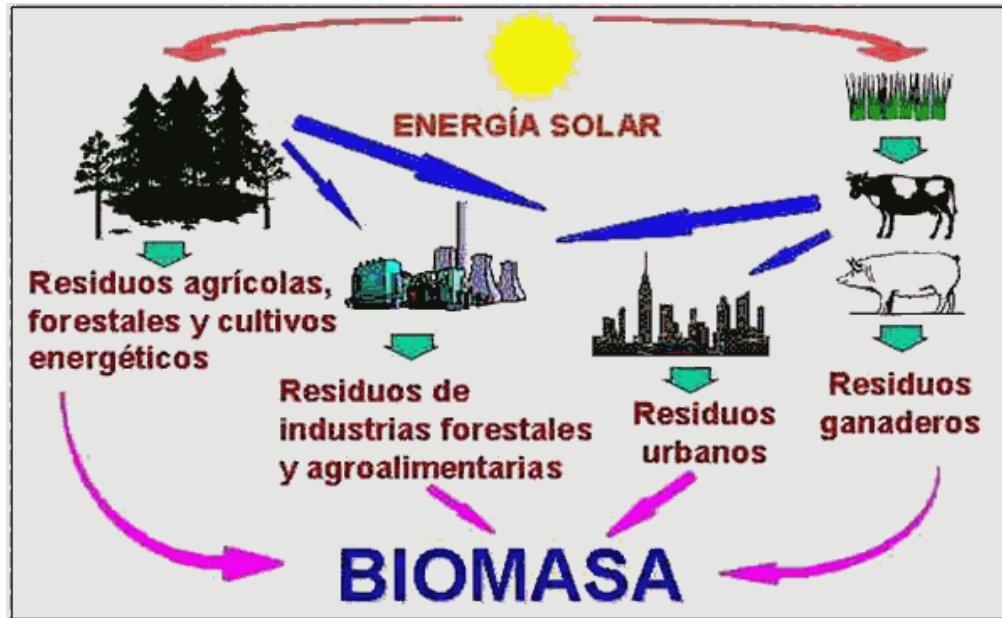


**Figura 8.23.** La celda de hidrógeno convierte el oxígeno y el hidrógeno en agua y genera energía eléctrica

Está compuesta por un electrolito cuyo objetivo es separar los dos componentes (hidrógeno y oxígeno en este caso) y los electrodos o catalizadores donde ocurren las reacciones químicas generadoras de electricidad (Bockris, 2006).

**Biomasa.** La bioenergía o energía de biomasa es un tipo de energía renovable procedente de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico. Generalmente se obtiene a partir de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, ser humano, animales, entre otros), o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente (por ejemplo, al quemar leña), o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos, por ejemplo el etanol. Ver Figura 8.24.

No se considera como energía de biomasa, la energía que contienen los alimentos suministrados a animales y personas, la cual se convierte mediante la respiración celular en ATP. Entre las formas de biomasa más utilizadas por su aporte energético se destacan los combustibles energéticos (caña de azúcar, remolacha, y otros.) y los residuos (agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos o biomasa residual) (Mc Mullan, 2006)



**Figura 8.24.** Ciclo de la producción de biomasa a partir de la energía solar

**Cultivos energéticos.** Se denominan cultivos energéticos a las plantaciones comerciales de especies con alto contenido energético, bien sea en carbohidratos o en grasas vegetales.

Entre los cultivos energéticos que proporcionan carbohidratos están:

Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

Remolacha azucarera (*Beta vulgaris subsp vulgaris var. altissima*)

Yuca o Mandioca (*Maniot esculenta*)

Maíz (*Zea mays*)

Los cultivos energéticos utilizados para obtener grasas vegetales son:

Soya (*Glycine max*)

Girasol (*Helianthus annuus*)

Palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

Jatrofa (*Jatropha curcas*)



Canola (*Brassica napus*)

También se consideran cultivos energéticos algunas especies forestales como los eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) y los pinos (*Pinus sp.*)



**Figura 8.25.** La soja se cultiva para la producción de alimento y también como cultivo energético



**Figura 8.26.** La caña de azúcar (a) y la remolacha azucarera (b) son cultivos energéticos que se aprovechan para producir etanol.

**Biocombustibles o biocarburantes.** Los biocombustibles son una mezcla líquida de hidrocarburos utilizados como combustible en los motores de combustión interna. Los biocarburantes provienen generalmente de los cultivos energéticos antes mencionados.

Los Los biocarburantes más usados son el bioetanol y el biodiesel, los cuales pueden sustituir parte de los combustibles tradicionales como la gasolina y el carbón. Ver Figura 8.27.

En Colombia la legislación que exige a las estaciones de servicio de combustible mezclar biocombustibles hasta un nivel determinado. Generalmente los biocombustibles se mezclan con otros combustibles en cantidades que varían del 5 al 10%.

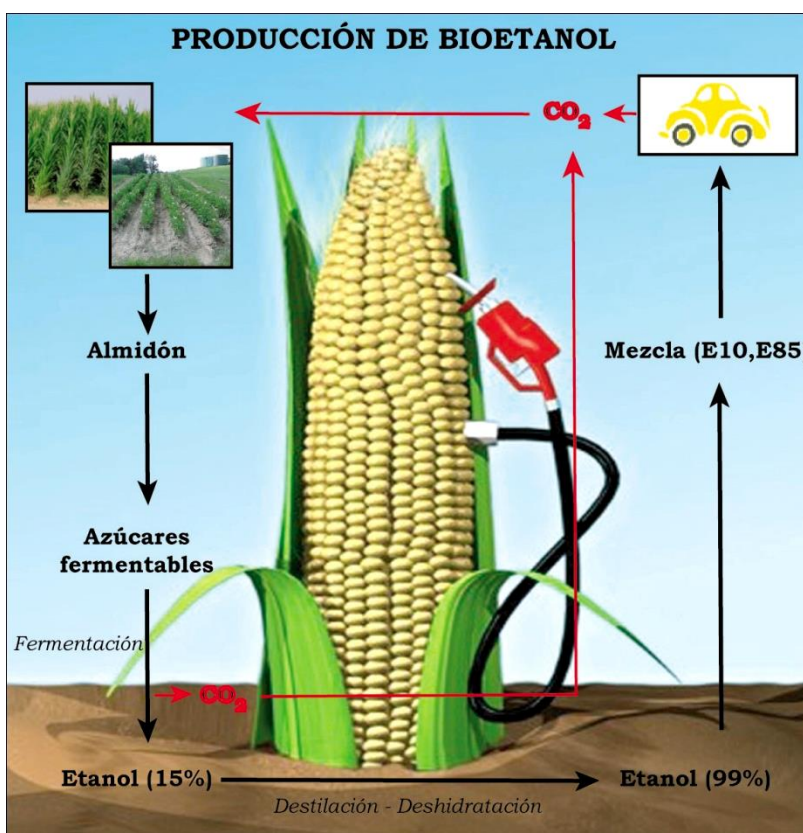


Figura 8.27. Representación del proceso de producción del bioetanol

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón (Henry y Heinke, 1999).

Los biocarburos más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiesel.

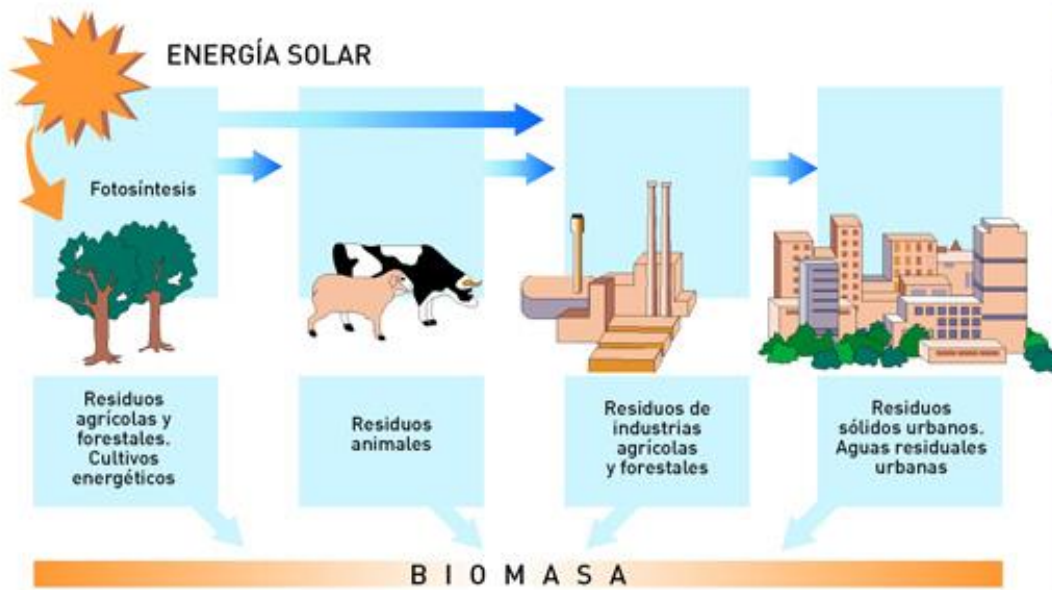
- El bioetanol también llamado etanol de biomasa, se obtiene por fermentación alcohólica de azúcares de diversas plantas como la caña de azúcar, remolacha o cereales.
- El biodiesel, se fabrica a partir de aceites vegetales, que pueden ser usados o sin usar. En este último caso se suele usar colza, canola, soya o jatrofa, los cuales son cultivados para este propósito

**Biomasa residual.** Es aquella obtenida mediante el procesamiento de subproductos o residuos procedentes de empresas agrícolas, ganaderas, forestales y relacionadas. Se distinguen varios tipos de biomasa residual según la procedencia de las muestras empleadas como la biomasa vegetal y la biomasa animal. Ver Figura 8.28.

Igualmente se conoce con el término de purines a cualquiera de los residuos de origen orgánico que están fermentados o con capacidad de fermentar y que tienen impacto medio ambiental. Tradicionalmente se han usado para producir abono y compost (Ham, 2002).

Se consideran purines las aguas residuales, los desechos vegetales tales como las hojas secas y el bagazo de la caña de azúcar, las acumulaciones de animales muertos, peces, comida, excrementos sólidos o líquidos o mezcla de ellos.





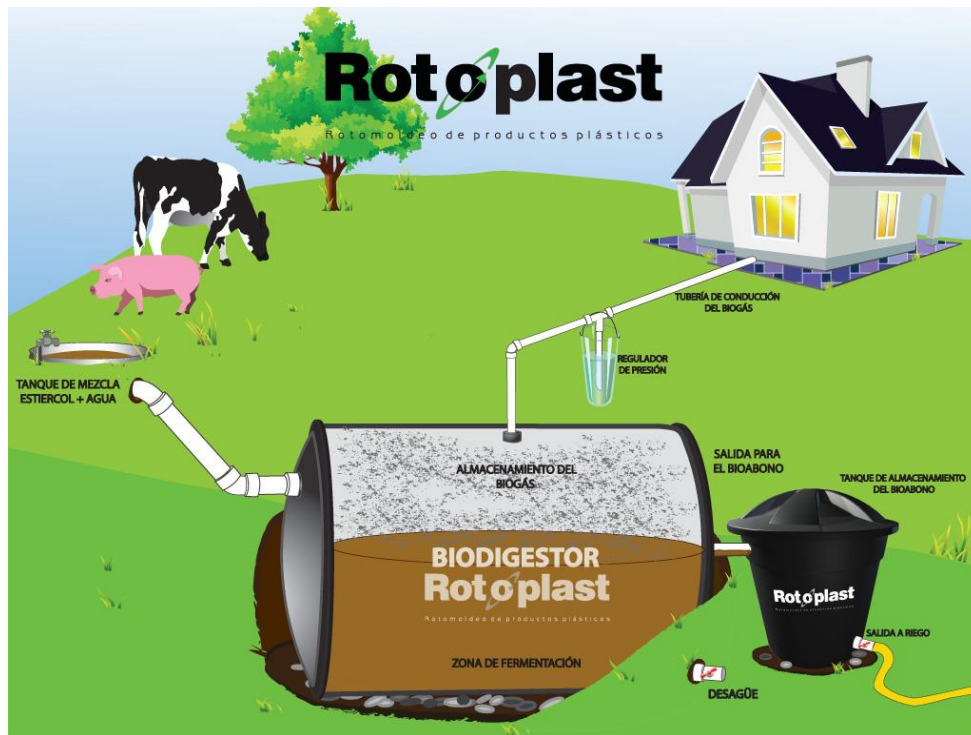
**Figura 8.28.** Principales fuentes de la biomasa residual.

Junto a otros materiales orgánicos entre los que se destacan los residuos sólidos urbanos, los purines tienen utilidad para la producción de compost. Tradicionalmente se han aprovechado los excrementos de aves y murciélagos como el guano (un abono) pero cualquier acumulación animal o estabular produce purines: las ciudades, el ganado vacuno, caballar, lanar, avícola y demás.

Uno de los métodos más comunes para procesar la biomasa residual en las fincas es el uso del biodigestor. En su forma más simple, el **biodigestor** es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y abonos orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. Ver Figura 8.29.

La biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en la materia fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano ( $\text{CH}_4$ ) llamada biogás, que es utilizado como combustible. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como abonos) que pueden

ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas (Martinez Orgado, 2008).



**Figura 8.29.** Esquema de funcionamiento de un biodigestor.

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno DBO hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y operación).

Los residuos ganaderos, por otro lado, también son una fuente importante de bioenergía. Los purines y estiércoles de vacunos, caballos, porcinos y aves de las granjas pueden aprovecharse energéticamente para obtener biogás (metano) y utilizarlo para producir calor y electricidad. Así mismo, puede aprovecharse la energía de las basuras urbanas, porque también producen biogás, al fermentar los residuos orgánicos, que se puede captar y aprovechar energéticamente para generar energía eléctrica y calor en las denominadas plantas de biogás de vertedero (Miller, 2001).

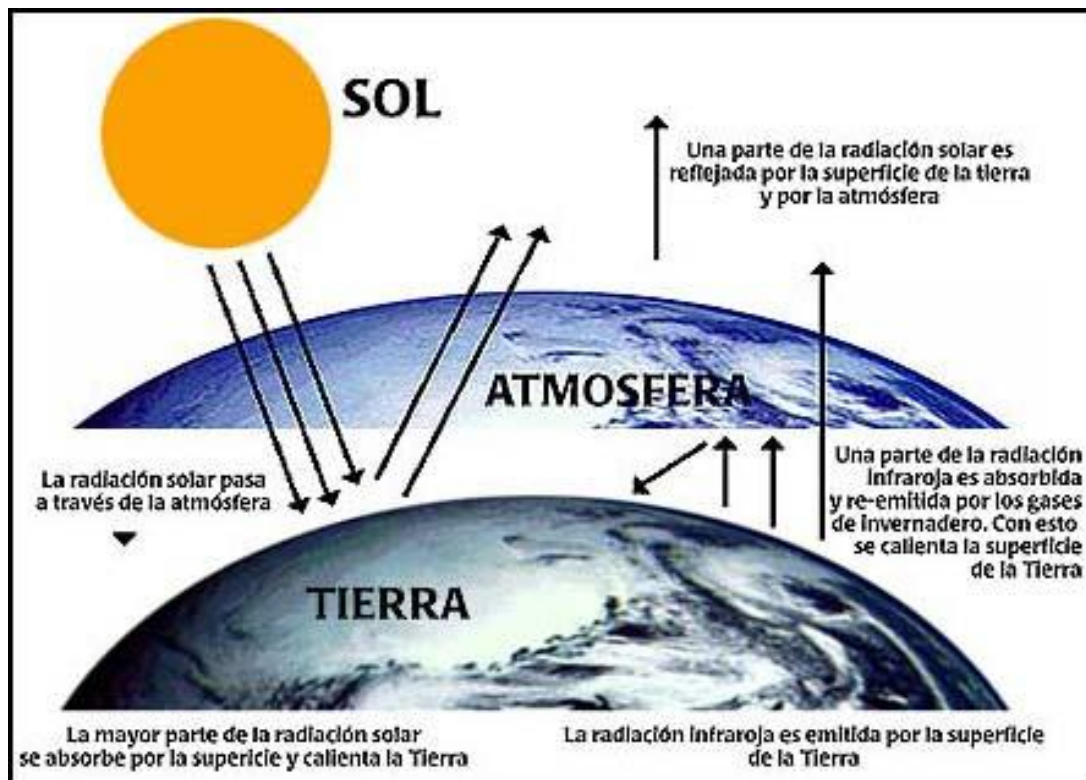
## 8.4 CAMBIOS CLIMÁTICOS

Desde que se formó el planeta hace cinco mil millones de años y hasta la presente, la tierra ha experimentado por tiempos (años o siglos), cambios climáticos importantes, ya sean épocas de frío y glaciales, ó épocas de calor y sequías, todo debido a fenómenos naturales. Ahora los científicos presumen que el calor experimentado en los últimos años, aparte de la variabilidad climática natural, es mayor que en épocas anteriores como consecuencia de la acción indirecta o directa de la actividad humana que altera la composición global atmosférica.

Se ha llamado **efecto invernadero** a la absorción en la atmósfera terrestre de las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie del planeta, impidiendo o atrapándolas en el espacio exterior y aumentando, por lo tanto, la temperatura media del planeta. El sol proporciona diariamente mediante sus radiaciones, el calor que el planeta necesita. Una parte de aquellas es absorbida por la tierra y el mar, y otra parte es devuelta a la atmósfera (por ejemplo: el hielo de los polos de color blanco, actúa como un espejo y rechaza las radiaciones); tales radiaciones infrarrojas deberían salir fuera de la atmósfera, pero los gases producidos y que están en esa región, impiden que eso suceda, lo que provoca un efecto similar al de un invernadero y causan un calentamiento peligroso del planeta (Stoli *et al*, 2002).

Los principales gases causantes de ese efecto invernadero son: el bióxido de carbono (55%), el metano (26%), el óxido nitroso (19%), y los hidrofluorocarbonos (HFC) (1%). Lo anterior parece ser la causa de los cambios climáticos. Al calentarse la superficie de los mares, aparecen grandes y repetidos huracanes y tormentas con inundaciones de costas y ciudades, entre éstos, los que destruyeron Florida y los que devastaron Mississippi y Nueva Orleans (USA). Ver Figura 8.30.

Los expertos no se ponen de acuerdo sobre si el planeta presenta ya un daño irreversible del ambiente o si éste todavía es reparable. Y es que en la tierra, plantas, animales, microorganismos son interdependientes, respiran y comen lo que otros producen. La luz solar que atraviesa la atmósfera es recogida por las plantas y contribuye a proporcionarles energía, ayudando a combinar el bióxido de carbono y el agua en su interior, para producir carbohidratos y otras sustancias alimenticias para ellas mismas y para animales y personas, y a su vez liberando oxígeno a la atmósfera.



**Figura 8.30.** Ilustración del efecto invernadero sobre la Tierra.

La pérdida del equilibrio entre los seres y la naturaleza está dando lugar a catástrofes y a la aparición de nuevas enfermedades. El hombre no debe olvidar que cohabita el planeta en unión de plantas y de animales de todo tipo, incluyendo también bacterias, protistas, hongos y virus, y cada uno tiene un lugar en él. Incluso el ser humano está colonizado por miles de millones de bacterias y virus que viven en la piel, boca, aparato respiratorio y digestivo, sin hacer daño, estimulando los sistemas defensivos del organismo para aumentar esa actividad (Pringle, 1996).

Grupos de lactobacilos y algunas cepas de bacilos *E. coli*, en proporción adecuada, viven en los intestinos e impiden la proliferación de bacterias patógenas cuando son ingeridas como el *Clostridium difficile*, anaerobios y salmonellas, bacilos dañinos capaces de producir enfermedades si se altera su proporción, como sucede a veces en personas desnutridas, o con bajas defensas por diferentes causas, o por el uso de antibióticos para simples gripes. Además, algunas bacterias benéficas contribuyen a la absorción de vitaminas, incluyendo la B12, y ayudan a producir enzimas digestivas para metabolizar los alimentos, por lo que son esenciales para la vida, pues combaten a las bacterias extrañas cuando

son ingeridas y contribuyen constantemente a las defensas, estimulando los mecanismos inmunológicos en el nivel de los vasos y ganglios linfáticos intestinales.

## 8.5 IMPACTO AMBIENTAL

A través del tiempo han desaparecido cientos de miles de especies animales y vegetales, debido a que no lograron adaptarse a las condiciones ambientales; sin embargo, desde hace varios siglos a esta destrucción se agrega la causada por el ser humano por necesidad, por negocio y hasta por deporte. Debido a eso la desaparición de diferentes especies animales se ha acelerado, como son los casos de los gorilas, chimpancés y orangutanes, los elefantes, tigres de bengala, los pumas, y en el mar, las ballenas, tiburones, atunes y otras especies.

La presencia del tiburón favorece la existencia de un saludable ecosistema marino, ya que se nutre de otros peces depredadores, incluyendo la manta raya, que suele multiplicarse en gran número si no hay tiburones, y se presenta un desequilibrio con otras especies más pequeñas y herbívoras.

National Geographic señala que hay declinación en las áreas de pesca de muchas especies, entre un 50% y un 90% de ellas, como el atún, el merlín y los camarones, aparte de los tiburones y las ballenas. Aboga por una monitoría mundial para la pesca, pero muchos pueblos costeros pobres viven de esa pesca (Silva Herrera, 2010).

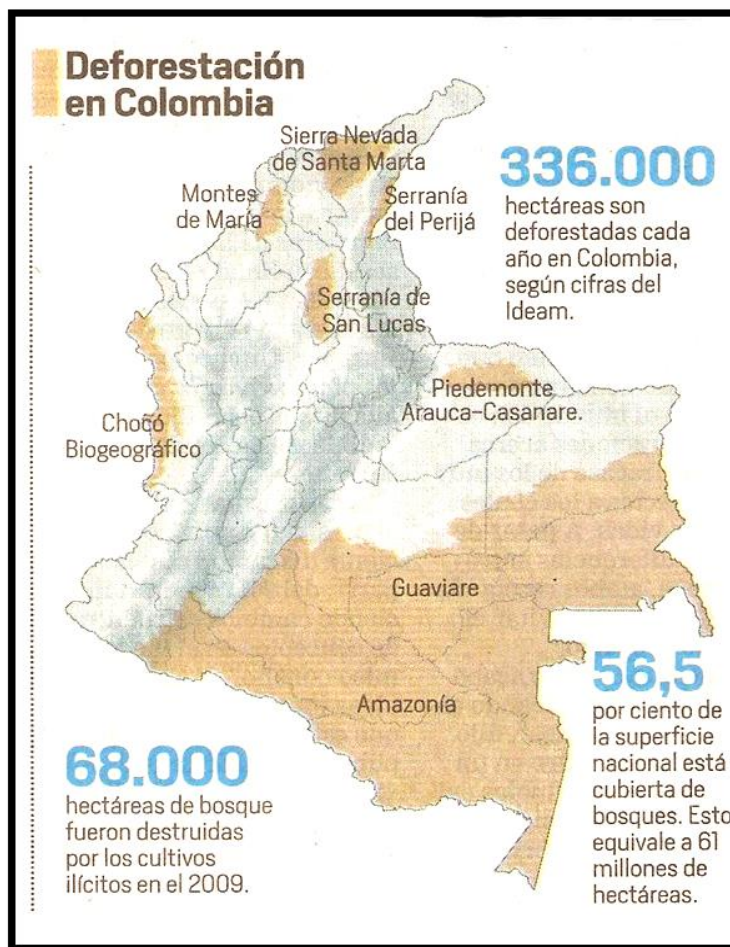
**Deforestación.** La desaparición progresiva de la vegetación en vastas regiones de Colombia es uno de los factores que más ha contribuido al deterioro de la calidad del ambiente en el país. Ver Figura 8.31.

Para 1995, se estimaba que existían 48 millones de hectáreas de bosques en pie en el país y que se había destruido más del 30% de la cobertura forestal nativa.

Tal vez si Colombia hubiese cuidado sus bosques durante los últimos 50 años, más de 2 millones 200 mil personas no hubieran sido víctimas de los aguaceros que cayeron a finales del 2010. Y el Gobierno no estaría pensando en cómo reconstruir medio país. Porque aunque estas comunidades de árboles pasan

desapercibidas, sin hacer ruido frenan la erosión para que las montañas no se desmoronen y los ríos no se desborden.

Pero además, regulan el clima, para que haya tantos días de sol como de lluvia; proporcionan gratuitamente el aire que se respira y ayudan a que todos los días se tenga comida sobre la mesa, porque en ellos se refugia el 80 por ciento de los recursos biológicos. También sustentan la economía. Cerca del 25 por ciento de las poblaciones se derivan de los bienes y servicios que estos grupos de plantas proporcionan, según la Unión Internacional para la Naturaleza (UICN).



**Figura 8.31** Mapa de Colombia con indicaciones del impacto de la deforestación en el país. Tomado de el Tiempo 30-01-2010.

Se puede afirmar que más de la mitad del planeta es agua y gran parte de su



territorio restante está cubierto por bosques, un ecosistema que cubre 4 mil millones de hectáreas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el 2010, cada año son taladas 13 millones de hectáreas de bosques. Dicho de otra forma: cada 12 meses se destruye una selva del tamaño de Grecia o Nicaragua repleta de vegetación.

El mayor deforestador en Suramérica es Brasil. Allí, sólo en el 2010, la selva amazónica perdió 256 mil hectáreas de bosques, de las 410 millones que forman el denominado pulmón de la tierra en esa nación. En Colombia, según el Ideam, la tasa de deforestación es de 336 mil hectáreas por año (la Universidad Nacional dice que esa tasa puede superar las 500 mil hectáreas), es decir, cada 12 meses se destruye un área llena de flora casi del tamaño del departamento del Atlántico. En síntesis, un 'cáncer' que, además, ya tiene en jaque el futuro de 500 especies de plantas nativas. (Silva Herrera, 2011).



**Figura 8.32.** Fotografía que visualiza los efectos de la deforestación en Colombia.

Se considera que se ha eliminado una tercera parte de la cobertura vegetal total nacional. Las principales causas de la deforestación en Colombia según el Ministerio de Minas y Energía (1994) fueron la expansión de la frontera agropecuaria y la colonización depredadora (73,3%), surgimiento de los cultivos ilícitos (2%), producción de madera (11,7%), consumo de leña (11%), e incendios forestales (2%).

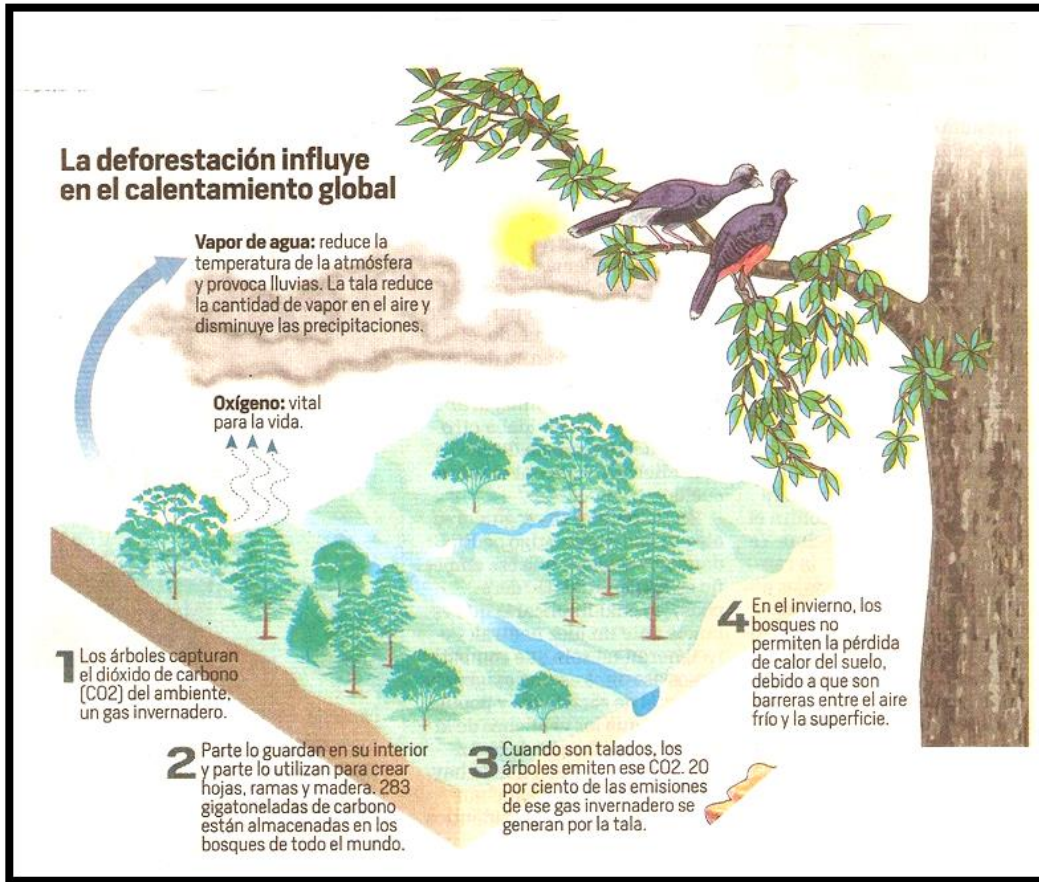
Los suelos están en constante degradación. El 45% de éstos son usados para fines distintos de su vocación y, por lo menos, el 8,5% del territorio nacional presenta erosión severa o muy severa. Se estima que anualmente entre 170.000 y 200.000 hectáreas de terreno quedan sujetas a erosión y existen alrededor de 700.000 hectáreas en vía de desertización y se presentan síntomas de este

proceso en 16 millones de hectáreas más (Chirivi, 2004).

Colombia es uno de los países más ricos del mundo en biodiversidad. Sin embargo, de continuar las tasas de deforestación, solamente en el Chocó biogeográfico desaparecerán en el próximo quinquenio entre el 10% y el 22% de las especies de la zona. La misérrima inversión estatal en educación e investigación, además, el bajo conocimiento técnico y científico no permite generar productos con valor comercial en los mercados internacionales. (Sánchez Pérez, 2002).

**Desertificación.** La precipitación pluvial es limitada o poco uniforme en muchas partes del mundo; así, muchas regiones carecen de agua suficiente para permitir la vida, excepto en forma limitada. La sobrepoblación humana y de animales intensifica el agotamiento del agua subterránea. La **desertificación**, el proceso por el cual las tierras se hacen más secas, está aumentando en todo el mundo. La región de Sahel, a través del norte de África, recibió atención mundial a mediados de la década de 1970 por su rápida desertificación. La hambruna de los habitantes y del ganado en Asia durante la gran sequía de los años setenta se produjo en condiciones similares (Houghton et al, 1990).





**Figura 8.33.** Ciclo que representa las etapas de deforestación y su influencia en el calentamiento global. Tomado de el Tiempo 30, 01, 2010.



**Figura 8.34.** Vista aérea del cañón de Chicamocha (Santander), extensa área asolada por

la deforestación.

La causa predominante del proceso de desertificación parece ser la actividad humana, más que la precipitación insuficiente. El aumento en la población humana y el movimiento de individuos nómadas hacia áreas más pobladas han concentrado muchas personas en lo que hace sólo unas cuantas generaciones eran tierras escasamente pobladas. Los cambios en las poblaciones han producido cambios en los patrones de pastoreo y uso del agua. El mayor número de cabras, ganado vacuno y caballar causan un sobrepastoreo. Este proceso suprime el crecimiento del pasto y, permite el crecimiento de matorrales y otros tipos de vegetación que son menos agradables para el ganado. Árboles y arbustos se cortan para obtener combustible, quedando sólo áreas expuestas. A las cabras en particular, con su apetito voraz por hojas y ramitas en crecimiento, se les ha atribuido reiteradamente la desertificación de las áreas alguna vez verdes. Ejemplo, el área a lo largo del cañón del río Chicamocha (Santander). Ver Figura 8.34.

**Incendios forestales.** Los incendios son una amenaza continua para cualquier ecosistema forestal. Los incendios pueden hacer que un bosque revierta a una etapa de sucesión anterior, como arbustos o praderas. También pueden hacer que una etapa intermedia, como trupillos o cujíes, persistan por largos periodos de tiempo (Master, 2004).

Las quemas de los suelos han sido una práctica muy extendida en Colombia. La quema ha sido utilizada históricamente como herramienta de trabajo agrícola, forestal y/o como práctica de preparación de terreno, ó simplemente para el manejo de residuos de cosecha. A pesar de que son quemas controladas, esto no las convierte en una práctica de cultivo adecuada de manejo del suelo, pues sin lugar a duda los efectos sobre los microorganismos y las propiedades físico-químicas del suelo no siempre son benéficas. Ver Figura 8.35.



**Figura 8.35.** Fotografías que muestran el estado de los suelos después de un incendio forestal.

La conservación del medio ambiente, un manejo racional de los recursos naturales y un nuevo enfoque de la producción agropecuaria, buscando la sostenibilidad de cada sistema en el mediano y largo plazo, representan los desafíos más importantes a nivel mundial, razón por la cual las quemadas controladas no deben ser utilizadas como herramienta de trabajo agrícola y menos como una actividad de bajo costo para eliminar cualquier tipo de vegetación.

En reemplazo de las quemadas es preciso adoptar sistemas integrados y sostenibles que generen una mayor productividad, basada en la utilización de los recursos propios y, sin provocar la alteración de los ecosistemas (Silva Herrera, 2010).

## **8.6 ALTERACIONES DEL AMBIENTE**

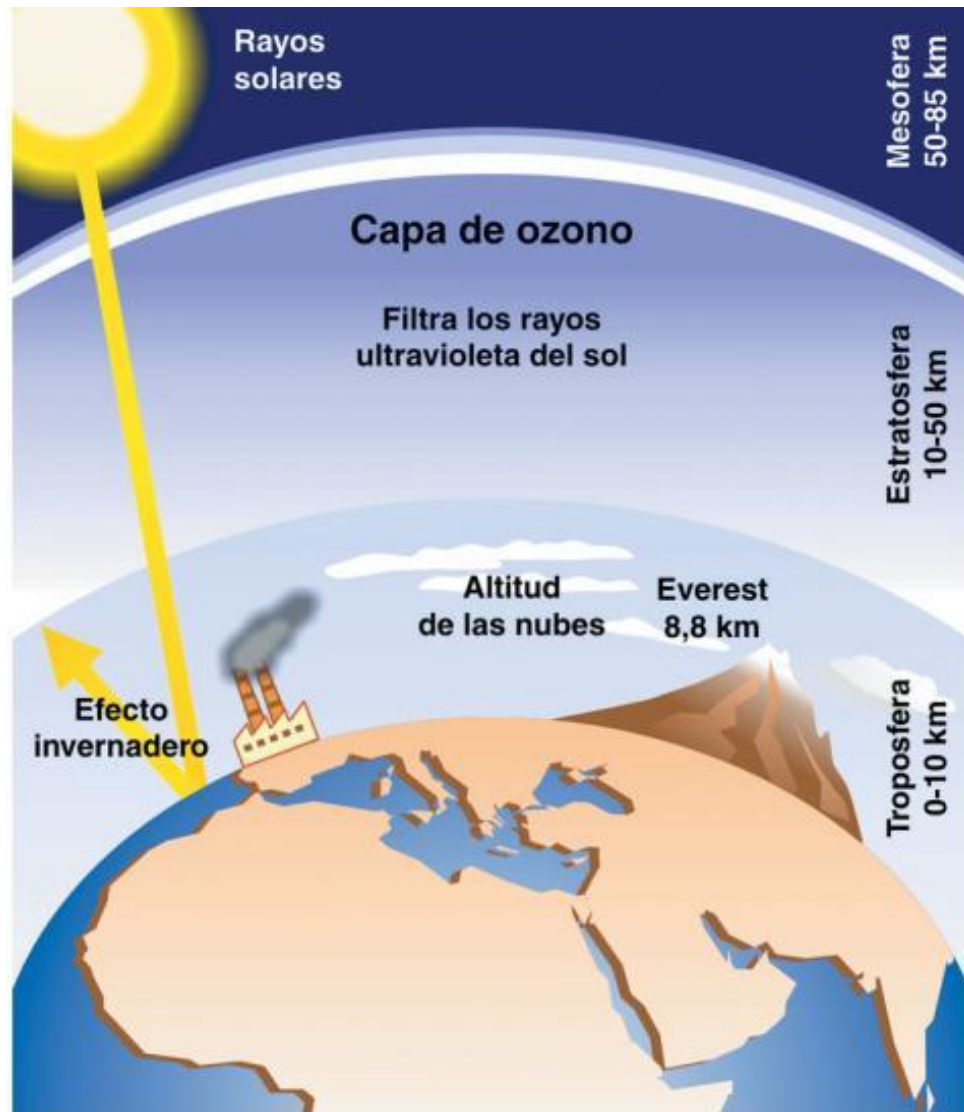
El ser humano ha alterado el ambiente con la deforestación masiva de bosques y selvas, la contaminación de los ríos y de la atmósfera, llegando incluso a la desaparición de parte de la capa de ozono de la Antártida y como consecuencia, aparecen *cambios climáticos* con calentamiento de la tierra, y se producen grandes inundaciones con huracanes en diversas regiones del globo, y en otras sequías graves. Todo esto condiciona la destrucción de áreas de cultivo y de fuentes de trabajo y hogares en todo el mundo, lo que provoca pobreza, enfermedad y muerte. Pese a las dificultades que hay para alimentar a la población, ésta continúa creciendo cada día, sobre todo en naciones y áreas de escasos recursos económicos (el 50% de la población mundial vive en la pobreza). En los países ricos, (Japón, Francia, Italia, Suecia) la población tiende a disminuir causando problemas, ya que cada año menos trabajadores atienden a más ancianos pensionados (Houghton *et al*, 1990).

¿Por qué estos problemas? Los restos fósiles de plantas de todo tipo y animales que vivieron hace millones de años, quedaron enterrados bajo el fango y se fueron hundiendo cada vez más en la tierra y el mar, y tras un lento proceso de descomposición, acabaron convirtiéndose en carbón, petróleo y gases orgánicos o naturales.

Con ellos el hombre creó una vasta y variada industria para proporcionar energía a las fábricas, industrias, autos, aviones, barcos. Al quemar carbón, petróleo o gas

natural, se combina el carbono del combustible fósil con el oxígeno del aire. Esta reacción química da lugar a que se forme también una molécula de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), principal gas responsable del efecto invernadero. Además, el gas metano producido por algunos volcanes y el procedente de los gases del intestino de millones de vacunos aumentan el problema.

El ozono se forma de manera natural a unos 25 Kilómetros de altitud. La luz ultra violeta del sol desintegra las moléculas de O<sub>2</sub> en átomos de oxígeno, los cuales se recombinan produciendo ozono, pero los aerosoles de CFC (Cloro-Flúor-Carbono) y provenientes de refrigeradores, aerosoles para el pelo, etc. lo destruyen al ascender a la atmósfera, y entonces esos rayos pueden generar cáncer en la piel (que está aumentando mundialmente) y algo más serio; si esto continúa, esos



Las emisiones de la actividad humana causan el agujero de la capa de ozono

Tipos de gas	Uso
Gas CFC y HCFC	Aerosoles, refrigerantes, acondicionadores
Halones	Extintores
Bromuro de metilo	Pesticidas agrícolas

**Figura 8.36.** Representación gráfica de la capa de ozono en la atmósfera.

rayos afectan el sistema inmunitario y pueden ayudar a que aparezcan otras enfermedades, aparte de que destruyen las algas unicelulares comunes en los mares (fitoplancton), y eliminan una parte de la capacidad de los océanos para extraer CO<sub>2</sub> de la atmósfera (Kneene, 1994).

Eso contribuye al aumento de calor global y a la pérdida de alimentos para



diversas especies marinas. Los aerosoles con CFC han sido prohibidos en muchos países hace varios años, y eso ha contribuido a que el agujero no aumente. Las actividades que producen más emisión de gases de efecto invernadero son: transporte y energía (46%), agricultura (38%), manejo de desechos (11%) y procesos industriales (5%). Se teme que el aumento de calor hará – antes de que finalice este siglo - que la temperatura se eleve entre 1.8 y 4 °C, con destrucción de grandes bloques de hielo polar que se derriten, y el agua residual reducirá el nivel entre 28 y 34 centímetros o más, inundando las costas de muchos países de América del Norte, Europa y Asia, y trastornando el sistema ecológico de los mares. Ver Figura 8.36.

Por otro lado, los polos y sus zonas blancas de hielo tienden a reflejar (como un espejo) la luz y no a absorberla, y al desaparecer grandes masa de hielo, el resto de la tierra y el mar tendrían que absorber esa luz que rechazan los polos, aumentando el calor. Los mares, cuanto más frío, más CO<sub>2</sub> absorben; si se calientan, se pierde esta facultad y el CO<sub>2</sub> se concentra en la atmósfera, aumentando el problema invernadero. Por otro lado el océano no solo retiene CO<sub>2</sub>, sino que a su vez expulsa O<sub>2</sub> a la atmósfera y ayuda con eso a la respiración.

## 8.7 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

El efecto del ser humano sobre el ambiente es muy evidente en la producción de contaminación, la basura y los subproductos de la tecnología y la civilización. En realidad, la contaminación se extiende en tantas regiones y aparece en tantas formas que es difícil definirla con exactitud. Algunas personas dirían que la contaminación es cualquier cosa que no está en estado natural o nativo.



a



b

**Figura 8.37.** Contaminación ambiental. a) Contaminación de las corrientes fluviales por efecto de las aguas negras de las poblaciones, b) Contaminación atmosférica debido a los desechos industriales.

Sin embargo, la naturaleza puede ser a veces el mayor contaminante de todos. Las inundaciones, los derrumbes y la erosión añaden continuamente barro y sedimentos a ríos, lagos y estuarios. Las erupciones volcánicas, como las del volcán galeras (Nariño) y del volcán nevado del Ruíz (Caldas), añaden enormes cantidades de productos químicos, ceniza y polvo a la atmósfera (Perkins, 2004).

Para otras personas contaminación es cualquier cambio que daña las condiciones originales; sin embargo, también este concepto es ambiguo porque, un cambio que es perjudicial para las tierras de pastoreo puede ser ventajoso para los bosques.

Y, ¿las tierras de pastoreo o el bosque representan las condiciones originales? Sin duda Colombia ha cambiado notablemente su ambiente desde la llegada de los primeros españoles. Vistos con esta perspectiva de tiempo, todas las aldeas, poblaciones, ciudades, haciendas y fábricas actuales representan contaminación. Ver Figura 8.37.



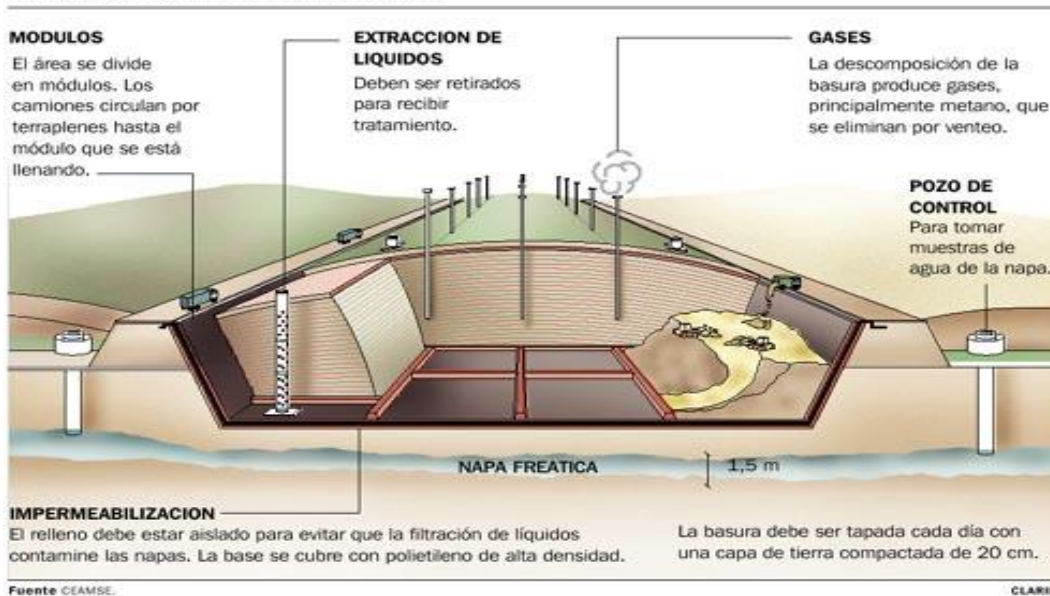
**Figura 8.38.** Fotografía con detalles característicos de un botadero común de basura.

Algunos estudiosos señalan que los contaminantes son impurezas en el ambiente.

Otros sugieren que las impurezas no son contaminantes a menos que causen problemas de salud. Esta parece ser una distinción razonable. Sin embargo, las bacterias y levaduras son impurezas de la leche y su presencia da al yogurt y a los quesos su sabor y consistencia. La miel, la nuez moscada y el perejil pueden ser dañinos o incluso tóxicos bajo ciertas condiciones, pero la mayoría de las personas no los considerarían contaminantes (Odum, 1995).

La contaminación es un problema personal porque afecta la comodidad, salud y seguridad de cada individuo. También causa problemas de tal magnitud que sólo el esfuerzo nacional o internacional, tienen grandes posibilidades de éxito en

### Cómo es un relleno sanitario



**Figura 8.39.** Diagrama de la distribución de los residuos en un relleno sanitario.

resolverlos. Sin importar qué tan previsor pueda ser un programa de control de la contaminación, si está restringido a un Departamento o ciudad en especial, su efecto es inocuo simplemente porque el problema está demasiado extendido. Los ecosistemas sencillamente no reconocen límites políticos. Sea cual fuere la definición, la contaminación es un producto visible del abuso ambiental; excepto que no siempre es visible.

### 8.7.1 Residuos sólidos



Durante siglos, el hombre ha dependido de los cuerpos de agua, de los vientos y del tiempo para deshacerse de la basura y otros **residuos sólidos**. Esta autocomplacencia todavía prevalece en gran parte del mundo. El interés serio por

la eliminación de la basura sin contaminar el ambiente, es una preocupación contemporánea. La tecnología y la civilización han creado finalmente tanta basura, que es un problema que ya no puede ignorarse (Turk, 2007).

La eliminación de los residuos sólidos se logra de varias formas: enterrándolos, quemándolos, dejándolos en basureros o bien amontonándolos. Algunos residuos sólidos, como el papel, la madera y los restos de comida, son **biodegradables** y son descompuestos por la acción natural de hongos y bacterias. Sin embargo, muchos desechos sólidos, latas, vidrio, aluminio, se descomponen muy lentamente, y el plástico es prácticamente indestructible desde el punto de vista biológico; es realmente un contaminante duro. Ver Figura 8.38.

En el país se producen diariamente cerca de 14.000 toneladas de residuos sólidos. El mayor porcentaje de éstos lo constituyen los residuos con alta concentración de materia orgánica en particular, productos vegetales, animales y papel. Cundinamarca, Antioquia y Valle generan el 60% del total de los residuos sólidos, Atlántico y Santander el 15% y el 15% los restantes departamentos.

Los residuos sólidos industriales se generan, principalmente, en las explotaciones mineras y petroleras, en instalaciones de defensa, en centros de salud, en labores domésticas, en las plantas de energía, en los cultivos y en la industria manufacturera. Los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca, producen el 70.5% de estos residuos. Los residuos de las industrias básicas de hierro y acero, las de fabricación de sustancias químicas, y los de la industria básica de metales no ferrosos son los que más contribuyen a la producción de contaminantes peligrosos. Antioquia, Bolívar, Cundinamarca, Valle y Santander producen en conjunto el 89% de estos últimos contaminantes.

La disposición de residuos sólidos ha sido uno de los programas de menor prioridad en el país. En la mayor parte de los municipios, los residuos sólidos se han dispuesto en botadores a cielo abierto o en los cuerpos de agua.

Enterrar la **basura** en los llamados rellenos sanitarios puede ser satisfactorio si se hace técnicamente. Según la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) el relleno sanitario consiste en el enterramiento ordenado y sistemático de la basura en el menor espacio posible, compactándola y cubriéndola con tierra. Sin

embargo, aún en los municipios donde se disponen los residuos sólidos en rellenos sanitarios los problemas son graves por cuanto no existe en el país ninguna comunidad con un relleno sanitario que ofrezca seguridad para depositar los residuos sólidos peligrosos (López *et al*, 1991). Ver Figura 8.39.

### 8.7.2 Contaminación atmosférica

La **contaminación atmosférica** tiene un amplia gama de efectos, que van desde la corrosión del templo Partenón en Atenas hasta la opacidad de los colores del arco iris en el firmamento. Gran parte de la contaminación atmosférica proviene de fuentes industriales: plantas de cemento, hornos de chircales y ladrilleras y fábricas de sustancias químicas (Kneene, 1994).

Un ejemplo interesante del manejo que se le ha dado al ambiente se tiene en Colombia. Durante los últimos cuarenta años, en Colombia la calidad del ambiente se ha deteriorado a tasas que no tienen precedentes, lo que ha llevado a la crisis ambiental. Crisis que se caracteriza por una alta tasa de deforestación, ocupación de áreas protegidas, alteraciones de los ecosistemas naturales reguladores del recurso (páramos y humedales), deterioro de los suelos, contaminación hídrica y contaminación atmosférica (Sánchez Pérez, 2002).

La calidad del aire en ciudades como Barranquilla, Bogotá, Cali, Medellín y Cúcuta tienen niveles de contaminantes que superan las normas existentes. El principal problema de contaminación atmosférica detectado son las emisiones de material particulado, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno que son generados por la industria manufacturera, las quemas a cielo abierto, las explotaciones extractivas y la combustión incompleta de combustibles fósiles en los procesos de generación de energía, las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos que provienen principalmente del parque automotor. Para remediar esta situación se han propuesto políticas consignadas en el plan de DESARROLLO SOSTENIBLE. Ver Figura 8.40.

Los contaminantes atmosféricos se dividen en cinco clases generales: óxidos de azufre, material particulado, hidrocarburos, oxidantes fotoquímicos y monóxido de carbono (Curtis y Barnes, 2000).



**Figura 8.40.** Las plantas de cemento son las grandes fuentes de contaminación atmosférica.

Los **óxidos de azufre** resultan de la combustión del carbón y del petróleo que contienen azufre. Estos compuestos son inconvenientes porque tienen malos olores, corroen los metales e irritan los ojos y la nariz. Los óxidos de azufre de la atmósfera se combinan con la humedad para formar ácido sulfúrico, el cual cae a la tierra como **lluvia ácida**, matando la vegetación, aumentando la acidez de los lagos y reduciendo el rendimiento de los cultivos. El estado de Nueva Inglaterra (USA) y Canadá oriental han sido particularmente impactados por la lluvia ácida que se originó quizá como humos sulfurosos de las chimeneas de fábricas alimentadas con petróleo y combustión de carbón. Los bosques de Escandinavia y Europa central han sido afectados en forma similar. Una forma obvia de controlar el nivel de óxidos de azufre es quemar sólo los combustibles fósiles con bajo contenido de azufre, pero dichos combustibles son poco abundantes. A largo plazo, la mejor solución puede ser eliminar la mayor cantidad de azufre posible antes de que el combustible sea quemado.

El **material particulado** varía en tamaño desde una pelota de tenis de mesa hasta partículas de polvo. Para impedir que las partículas grandes producidas durante los procesos industriales entren a la atmósfera se instalan pantallas y filtros en chimeneas y tubos de escape; las partículas más pequeñas del tamaño del hollín pueden eliminarse utilizando precipitadores eléctricos. Ninguno de estos métodos es totalmente eficaz y cada uno de ellos requiere de equipo especial y mantenimiento continuo.

Los **hidrocarburos** son materiales biológicos parcialmente descompuestos que aparecen en los humos y gases. Su nombre indica la combinación de hidrógeno y carbono que contienen.

Los **oxidantes fotoquímicos** resultan de reacciones químicas que ocurren en la luz del sol. Se forman ácidos débiles que pueden irritar los ojos y la nariz y que, con el tiempo, pueden disolver incluso construcciones de piedra caliza. El ozono producido a partir de estas reacciones fotoquímicas puede dañar la vegetación y reducir el rendimiento de los cultivos de hortalizas (Perkins, 2004).

El **monóxido de carbono**, es un gas natural que restringe la capacidad de los eritrocitos humanos para absorber el oxígeno. El oxígeno abunda en torno a una fogata, de manera que la combustión (quema) completa libera bióxido de carbono como uno de los productos de desecho. Si el suministro de oxígeno es limitado, como ocurre en un montón de basura llameante, la combustión es incompleta, produciendo monóxido de carbono en lugar de bióxido de carbono. Una fuente importante de monóxido de carbono en las sociedades industriales son los motores de automóvil mal sincronizados.

Los motores de gasolina se sincronizan para utilizar mezclas de combustibles pobres (mucho aire/poco combustible) o ricas (poco aire/mucho combustible). Ambos ajustes son problemáticos. Las **mezclas pobres** deben utilizarse a altas temperaturas del motor. Las altas temperaturas eliminan la mayoría de los hidrocarburos y el monóxido de carbono al favorecer la combustión completa del combustible. Desafortunadamente, dichas condiciones favorecen la producción de óxidos de nitrógeno. (Los óxidos de nitrógeno son contaminantes que resultan de la combustión parcial de materiales que contienen nitrógeno). Las **mezclas ricas**, que pueden utilizarse a bajas temperaturas del motor, reducen la producción de óxido de nitrógeno, pero la combustión incompleta resultante produce hidrocarburos y monóxido de carbono.

A la fecha, la solución más satisfactoria para controlar las emisiones de gases de los automóviles ha sido utilizar silenciadores catalíticos. Con estos silenciadores debe utilizarse gasolina libre de plomo ya que el plomo inactiva rápidamente a los catalizadores. (El tetraetilo de plomo se incluye como aditivo "antidetona" en ciertas clases de gasolina).

Aun con el incremento en el uso de gasolina libre de plomo ó **gasolina ecológica**, la mayor parte del **envenenamiento por plomo** proviene todavía de los humos del escape de los automóviles. Sin embargo, el hombre ha estado expuesto al envenenamiento por plomo desde el inicio de la civilización. La caída del imperio romano pudo haber sido apresurada por las enfermedades resultantes del uso de tuberías de agua y jarras de vino hechas a base de plomo. Las generaciones más

recientes han sido envenenadas por pinturas, cosméticos y barnices para cerámica hechos a base de plomo (Kormandy, 1993).

### 8.7.3 Aguas residuales

El agua pura es insípida, ya que carece de cualquier mineral y gas. Muy poca agua es 100% pura; incluso el agua destilada contiene por lo general trazas de minerales disueltos. Para fines prácticos, agua pura significa agua potable o agua que puede beberse y carece de organismos dañinos. Es lógico utilizar agua potable para beber, bañarse y preparar los alimentos, pero es un desperdicio utilizarla para procesar el acero, lavar carros o regar el jardín.

El interés mundial por la pureza del agua y las actitudes hacia este aspecto han estado en conflicto desde hace tiempo. Algunas poblaciones y ciudades vierten todavía aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas en los ríos cercanos (corrientes abajo, por supuesto). Durante años, los buques han vertido aguas residuales sin tratar en el océano y, en algunas partes del mundo, los inodoros de los trenes son drenados aún a través de agujeros en el piso. Ver Figura 8.41.



**Figura 8.41.** Mortandad de peces por efecto del agua contaminada en una ciénaga del río Magdalena.

Aparte de su olor y apariencia desagradables, el agua contaminada representa un peligro para la salud. Varias enfermedades virales y microbianas, como el cólera y la disentería, son propagadas por el agua y se extienden fácilmente en ríos y lagunas. Desafortunadamente, el olor, color y sabor del agua no son indicadores fieles de su pureza. El agua helada del río que corre rápidamente a través de una

montaña puede ser cristalina y brillante y, sin embargo, contener amibas que causan disentería. El indicador comúnmente reconocido de la presencia de aguas residuales producto de las actividades del hombre son las bacterias *Escherichia coli* (con frecuencia, abreviada *E. coli*). Esta bacteria patógena (que causa enfermedad) es un habitante común del colon humano, de ahí su nombre. Si esta bacteria está presente, es posible que existan también otros organismos patógenos. Al agua utilizada para beber se le aplica cloro para matar a *E. coli* y otros microbios patógenos (Viessman y Hammer, 2003).

El tratamiento de las aguas residuales y la purificación del agua a gran escala en regiones tropicales suele involucrar el uso de estanques de sedimentación que utilizan algas y microorganismos para remover los minerales y sustancias biológicas. Este sistema promete ser más económico de construir y más fácil de operar.

Colombia es un país abundante en recursos hídricos pero se manejan de manera inadecuada. De los municipios del país, menos del 5% tratan las aguas residuales. Diariamente se descargan al entorno natural cerca de cuatro y medio de millones de metros cúbicos de aguas residuales. El desarrollo urbano no tiene control efectivo. No existen programas eficientes de control y prevención de la contaminación, lo que ha llevado a que haya déficit de agua en el 14% del territorio nacional; se han degradado ecosistemas acuáticos como la bahía de Cartagena, se han deteriorado ríos importantes (Bogotá, Cali, Otún, Zulia, Pamplonita entre otros), se ha reducido la población de peces, y se han alterado ecosistemas importantes como la ciénaga Grande de Santa Marta, el complejo cenagoso de Zapatosa y Teca, la ciénaga de la Virgen, el lago de Tota y la laguna de Cocha y Fúquene, entre otros.

Las principales fuentes de contaminación hídrica son los residuos provenientes del hogar, la industria, la actividad agropecuaria, la explotación minera y los lixiviados. La carga de residuos líquidos peligrosos proviene básicamente de la mala disposición de residuos sólidos y líquidos de los centros de salud, de la escorrentía de contaminantes atmosféricos depositados por la precipitación y los residuos de la industria manufacturera, en particular la industria de procesamiento de petróleo, la química de las curtiembres. (Sánchez Pérez, 2002).

#### **8.7.4 Contaminación por petróleo**

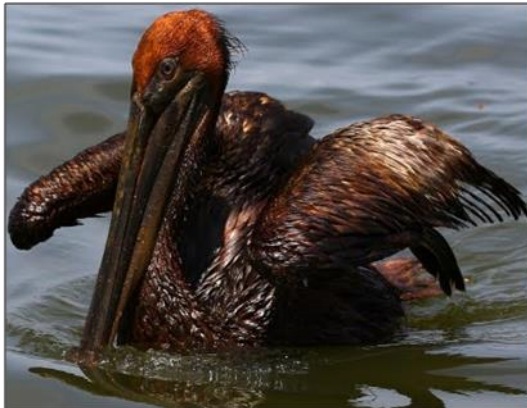
Los derrames mar adentro, la filtración de pozos y la limpieza ilegal de buques

petroleros han contaminado muchos mares y playas. Uno de los primeros derrames importantes de petróleo que recibió la atención mundial ocurrió cuando el buque petrolero *Torrey Canyon* se hundió en la costa de Inglaterra, en 1967. El daño ecológico de este derrame de 100,000 toneladas fue grave, especialmente para las aves marinas, la mayoría de las cuales murieron al tener contacto con el petróleo. El daño inicial que sufrieron el plancton, las ostras y otras formas de vida del fondo del océano fue importante, pero el efecto a largo plazo sobre estos organismos del océano parece haber sido sorprendentemente ligero. Esto habla bien de la capacidad de recuperación de los grandes ecosistemas. Ver Figura 8.42.

Uno de los desastres ambientales y económicos más grandes de la historia ocurrió el 20 de abril de 2010 cuando un pozo de petróleo situado en aguas del Golfo de México estalló y comenzó a vertir entre 30.000 y 60.000 barriles de petróleo por día, durante 87 días. El crudo afectó la costa de todos los Estados del Sur de E.U.A (Kneene *et al*, 1994).



a



b





C

**Figura 8.42.** Contaminación por petróleo, a) Residuos de petróleo en una fuente de agua. En Colombia es frecuente la voladura de los oleoductos lo que ocasiona la contaminación de las aguas adyacentes; b) Pelicano contaminado con petróleo; c) Playas con residuos de petróleo provenientes de buques averiados en alta mar.

### 8.7.5 Contaminación sonora

El sonido es una parte natural del ambiente. Un nivel razonable de sonido es agradable, el viento que sopla entre los árboles, el canto de las aves, la conversación en voz baja de las personas, etc. En contraste, el estruendo de una tormenta puede ser aterrador. Algunos sonidos son componentes inevitables de la civilización. Debe aceptarse el zumbido del ventilador para obtener sus beneficios. Por fortuna, el hombre se acostumbra a muchos sonidos. El fuerte ruido del tráfico (para un campesino) o el mugir de las reses (para un ciudadano), pueden ser molestos por uno o dos días, pero la persona pronto se adapta a ellos. La ausencia de ruido puede ser igualmente perturbadora, y un ambiente que carece por completo de sonidos es insoportable. El sonido que es inoportuno, molesto o agresivo se denomina **ruido** (Mc Mullan et al, 2006).

El rugir de una motocicleta sin silenciador, la música amplificada de un grupo de músicos de rock metálico y el ruido estridente del motor de un avión al despegar son ejemplos de contaminación por ruido.



a

b

**Figura 8.43.** Contaminación sonora, a) Equipos de sonido con elevado volumen que sobrepasa el nivel de tolerancia auditiva, b) Ruido excesivo causado por el tráfico vehicular.



El factor principal de la contaminación sonora es el alto volumen. La unidad de medida del sonido es el decibel (dB) y se mide en una escala logarítmica, lo cual significa que el nivel del sonido se duplica con cada incremento de 10 dB. El límite del sonido permitido para una zona industrial es de 75 dB (Overmire, 1995).

En Colombia no existe control eficiente al ruido. La falta de sistemas de control del ruido en las empresas ha llevado a que la primera causa de enfermedad profesional sea la **hiperacusia**. Ver Figura 8.44.

La hiperacusia es el síndrome por el cual se produce una disminución de la tolerancia a sonidos normales y naturales del ambiente. El individuo que sufre hiperacusia siente que los sonidos habituales se convierten en altos y dolorosos y hasta intolerables. La persona se torna irritable, frustrada, fatigada y es incapaz de concentrarse. En los centros urbanos del país el ruido es causado por los vehículos de transporte, el comercio, la construcción, y la industria manufacturera.



**Figura 8.44.** Individuo con hiperacusia. Para esta persona los sonidos habituales se convierten en altos y dolorosos y hasta intolerables; se caracteriza porque se torna irritable, frustrada, fatigada y es incapaz de concentrarse.

En ciudades como Barranquilla el ruido alcanza niveles de 95 dB en horas del medio día, en las zonas cercanas a las vías del centro.

La contaminación por ruido puede controlarse hasta cierto grado. Barreras artificiales y pantallas pueden ayudar a absorber o desviar el ruido producido afuera. La insonorización puede contribuir a que las construcciones y los automóviles sean más silenciosos. Como último recurso, siempre puede

disminuirse el volumen del equipo de sonido.

## 8.8 DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA

Hasta la mitad del siglo XX se consideraba que medio ambiente y desarrollo eran dos problemas que se entendían y se miraban por separado, en términos del desarrollo económico de un país. Sin embargo, a partir de 1972 en Estocolmo (Suecia) y luego en la reunión “ La cumbre de la Tierra ” de las Naciones Unidas en 1992, en Río de Janeiro (Brasil), se reconoció que la problemática entre medio ambiente y desarrollo rebasaba lo técnico y que, por lo tanto, el deterioro del medio ambiente tiene implicaciones sociales, políticas y necesariamente económicas.

Fenómenos planetarios como el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono y el agotamiento de la diversidad biológica, motivaron acuerdos a los que se suscribieron la mayor parte de los países del planeta. En esta reunión se cuestionó el modelo de desarrollo impulsado por los países de alto ingreso per cápita, pues significa un consumo de energía que si se pretende a un nivel similar para todos los habitantes del planeta amenazaría las condiciones de vida en la Tierra.

Para comprender la interrelación y problemática entre desarrollo y medio ambiente se propuso entonces el concepto de **desarrollo sostenible**, concepto nuevo en el contexto mundial, el cual se define así:

“Desarrollo sostenible es el que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.”

El concepto de desarrollo sostenible ha cambiado la filosofía de la explotación despiadada de la población humana por una que fomente la protección del ambiente y sus habitantes a largo plazo. Esto significa un cambio respecto a prácticas obsoletas cuando los avances tecnológicos tenían como guía criterios de eficiencia, productividad, rentabilidad y otros similares de tipo económico.

Estos conservan su validez, pero ahora se han agregado a ellos inquietudes por los impactos en la salud y el ambiente, la conservación de los recursos y la

energía, el manejo de los residuos y los problemas sociales como las demandas públicas, el desempleo y la criminalidad.

Algunas prácticas adoptadas para satisfacer las necesidades de una población en crecimiento son en realidad soluciones de corto alcance y no pueden continuar. Ejemplo de ello es el excesivo uso de fertilizantes en los cultivos, la deforestación de los bosques, no controlar la contaminación y otras prácticas nocivas similares. En último término, el desarrollo sostenible mundial demanda una población estable, asentada en un medio social y físico seguro. Si el desarrollo sostenible mundial se alcanza será mediante el ingenio humano y la adaptación natural de los seres vivos a un mundo en continuo cambio (Henry y Heinke, 1999)

En la actualidad, la idea que tiende a aceptarse en todo el mundo es que los problemas del medio ambiente son los problemas de desarrollo y que la meta del desarrollo sostenible debe ser la de conciliar el crecimiento económico para la población en general, presente y futura, con la renovabilidad de los recursos, proceso que implica cambios políticos, económicos, fiscales, industriales y de manejo de los recursos naturales, bióticos y energéticos.

Hoy, partiendo de ciertos postulados comunes, se dice que si bien la sostenibilidad implica lo ecológico, lo económico y la diversidad cultural, las expresiones de desarrollo sostenible son diversas en cada lugar, tanto por las diferencias biofísicas como por las diferencias culturales. En cómo lograrlo, es decir, la estrategia a seguir debe ser definida por cada proceso social particular. (Sánchez Pérez, 2002).

En Colombia el concepto de desarrollo sostenible fue reglamentado por la ley 99 de 1993, artículo 3 y dice textualmente: “Desarrollo sostenible es el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades”.

## **8.9 OPERACIÓN SALUD**

Existe la tendencia generalizada a considerar la salud, en cualquiera de sus definiciones, como un logro cuyas metas están definidas y tienen un valor universal. Por ejemplo, el lenguaje médico internacional occidental define a una

persona sana como aquella que presenta, entre otras características, una contextura fuerte, un nivel de hemoglobina de 15 g por 100 ml de sangre, cuyas heces no tengan parásitos y cuya biota intestinal no excede los límites que aparecen en la bibliografía científica. A nivel psicológico, se espera también que una persona sana sea extrovertida, enérgica y de aspecto atractivo.

Esta definición olímpica de la salud automáticamente sitúa a la mayoría de los pobladores del mundo como enfermos. Así, resulta lógico que esta concepción de salud vaya acompañada de un inmenso esfuerzo por alcanzar los llamados niveles “satisfactorios” de salud, con absoluta independencia del ambiente, género de vida, realidad socioeconómica, etapa histórica de desarrollo y demás. En contraposición a este concepto universal de salud, se propone que la salud debe definirse en términos de una realidad ecológica, tanto biótica como cultural.

Por consiguiente, la salud debe definirse según las condiciones ecológicas predominantes, es decir, de acuerdo con las variables culturales y ambientales que afecten a la población. Esto significa que, en lugar de establecer normas universales de salud, se debería definir un nivel de salud satisfactorio acorde con las condiciones dadas, y después encontrar la manera de alcanzar dicho nivel (Monge, 1978).

Para lograr esta meta es imperativo constituir un equipo multidisciplinario formado por profesionales de la salud, ambientalistas, sociólogos, autoridades civiles y militares. Ellos deben formar un equipo que defina y ordene la operación salud de una determinada comunidad, enmarcada en términos ecológicos.

Aunque se reconoce la necesidad de conformar equipos multidisciplinarios que definan, orienten y lleven a cabo las acciones de salud, no se deben iniciar sus actividades sin un programa previo de investigación. Es necesario que los miembros de un equipo multidisciplinario compartan la misma filosofía, estén acostumbrados a la intercomunicación y sean capaces de trabajar en un área ambiental estrecha. Es obvio que, por lo menos dentro de la realidad latinoamericana, solo las universidades pueden coordinar estos equipos.

### **8.9.1 Cambios ambientales y salud**

La deforestación y los cambios que provoca en los bosques y selvas, causan que parásitos, bacterias, hongos, virus que viven en huéspedes naturales (animales y plantas) de esos sitios y que los parasitaban en la mayoría de los casos sin causarles daño, están migrando hacia otros sitios más cercanos a los poblados, y

hacia mosquitos, ratas, aves, gatos, cerdos, etc., de las ciudades, contaminándolos y con frecuencia produciéndoles lesiones que pueden trasladarse por mutaciones y afectar al ser humano. Al parecer, eso fue lo que sucedió con el virus del sida, que en la década de los 70 y 80, afectaba a los monos (chimpancés y otros) de la selva sin provocarles la muerte; Al emigrar éstos cerca de los pueblos, se pusieron en mayor contacto con los humanos y los contaminaron, por lo que poco a poco se extendió la enfermedad por África y el resto del mundo, ocasionando una de las más graves pandemias, sin que se logre todavía obtener una vacuna que impida la enfermedad (López *et al*, 1991).

Otras enfermedades de origen parecido son: la encefalitis, que provoca el *virus del Oeste del Nilo*, de Egipto y otras áreas de África, y desde hace varios años llevada por los pájaros a Estados Unidos y el resto de América del Norte; para 2007 se había diseminado por todo el país y causado la muerte de más de 1000 personas y de cientos de miles de pájaros, según el Centro para el Control de Enfermedades Infecciosas de Atlanta.

Otro virus hemorrágico, el Ebola de África y el SARS o gripe aviar se presentaron inicialmente en países asiáticos y luego migraron a otros continentes y pueden transmitirse a personas que manipulan aves, las cuales carecen de defensas. La cepa mortal de este virus ha matado a millones de pollos y pavos y a varios cientos de personas. En 2007 se diseminó a aves de Inglaterra y Canadá, donde al parecer fue controlada. Desgraciadamente, todos los años se sufren las llamadas *influenzas o gripes estacionales*, causadas por diferentes virus y que producen: rinitis, dolores musculares, fiebre, conjuntivitis, dolor de garganta, tos, cefaleas e incluso neumonías, las cuales causan la muerte de miles de personas.

Aparece ahora la gripe llamada AH1N1, debido a un virus mutado con fragmentos de cepas de humanos, aves y de cerdos, hoy convertida en pandemia y sobre la cual, la OMS el 17 de octubre de 2009, señaló que se ha difundido mundialmente a una velocidad sin precedentes. Se ha notado que produce infecciones pulmonares con más fuerza que los virus estacionales. En Colombia han muerto 17 personas hasta octubre de 2009, pero posiblemente hay cientos de personas que la sufrieron levemente y ya están inmunizadas (Jaramillo-Antillón, 2010).

Es importante recalcar que afecta más a personas con otras enfermedades debilitantes, como: diabetes, bronquitis crónica y cardiopatías, y a embarazadas, debido a que en ellas las defensas bajan. La principal causa de la muerte es una neumonía causada por el mismo virus o por un germen oportunista.

Aunque ya se fabricó “aceleradamente” una vacuna contra este virus y se ha iniciado una vacunación masiva mundial, si mutara el AH1NI, de nada serviría ésta, y quienes tuvieron la infección no estarían inmunizados contra el nuevo virus.

La conservación de la naturaleza ha pasado de ser un problema puramente ecológico, social y económico, a uno de salud, por las razones expuestas, y de continuar descuidando estos aspectos, aparecerán en el futuro cercano enfermedades impredecibles y de pronóstico grave, por no tener defensas contra ellas. Una enfermedad producto del descuido humano, la llamada *encefalitis de las vacas locas*, obligó hace unos años a sacrificar miles de cabezas de ganado vacuno contaminadas por un “*prion*” o fragmento de una proteína desconocida, y que actuaba como un virus capaz de causar enfermedad a las vacas y a quienes ingieran carne contaminada. La causa radica en que a los vacunos se les daba alimento concentrado con restos de carne y huesos de animales, incluyendo su columna y médula, y el aparato digestivo del ganado vacuno no estaba preparado para recibirlo, ya que no es carnívoro y su sistema inmunológico digestivo intestinal no está adaptado para defenderse de esos fragmentos de proteínas malignas (Henry y Heinke, 1999).

Por otro lado, al darle al ganado y a las aves antibióticos para combatir las infecciones o para evitarlas preventivamente, las bacterias que viven o atacan a esos animales se adaptan o crean resistencia contra los antibióticos, y cuando se transmiten al ser humano por la ingesta de alimentos, es posible que resistan los antibióticos. La aparición de cepas de *Escherichia coli* muy patógenas se debe a lo anterior, y a que esos animales contaminan con sus defecaciones el agua y los vegetales de consumo humano, y pueden provocar brotes de diarreas en la población, por alimentos contaminados.

Todas las personas están expuestas a riesgos en forma permanente; en el aire de una casa, cines, tiendas, escuelas, colegios y hospitales, y en las calles de la ciudad, existen flotando en el aire bacterias y virus de diferentes tipos, no solo de la gripe sino incluso de la polio y bacilos de la tuberculosis, de la tos ferina y muchos más, y el ser humano se pasa inhalando y expeliendo millones de ellos diariamente.

La mayoría de la gente no se enferma debido a que sus mecanismos inmunológicos defensivos de las diferentes partes del cuerpo, luchan contra esas bacterias o virus, o están vacunados y eso los protege. Favorecen la aparición de infecciones: la mala alimentación, la diabetes, el hacinamiento en áreas o barrios, la suciedad, el abuso del licor y drogas, los internamientos en hospitales, la cirugía sin asepsia, los alimentos contaminados y no lavados –en especial

verduras y frutas y otros vegetales- e incluso el agua que se cree potable (Turk et al, 2007).

**La globalización de la enfermedad.** La viruela, la sífilis y la tuberculosis duraron siglos para diseminarse en el mundo conocido, debido a que los enfermos que la sufrían viajaban por tierra o por barco durante meses para llegar a otros sitios y contaminar a otras personas fuera de su región o país. En la actualidad, millones de personas enfermas (la mayoría sin saberlo) se trasladan diariamente de un continente a otro por avión. La gripa AH1N1 contra la que no hay defensas orgánicas, podría diseminarse por todo el mundo, como sucedió con la llamada *influenza española*, que entre 1918 y 1919 mató a 35 millones de personas. Con los viajes aéreos existe la preocupación de que la pandemia actual AH1N1, u otra mutada, en un futuro cercano se extiendan y causen la muerte de millones de personas. De ahí la urgencia y rapidez con la que se preparó la vacuna.

Al ver la destrucción que el hombre ha creado en la naturaleza y las guerras de todo tipo que ha desencadenado con la muerte injustificada de millones de personas, no queda más que darle la razón al filósofo alemán Schopenhauer quien afirmó: “el hombre es el lobo del propio hombre”.

## **BIBLIOGRAFIA**

BAKER, Jeffrey J. y Garland E. ALLEN. 1990. Biología e Investigación Científica. USA. Fondo Educativo Interamericano S.A.

BENNET, D.J. 2002. The elements of nuclear power. London: Longmans

BOCKRIS, J. O'M. 2006. Energy: The solar –Hydrogen alternative. London: Architectural Press.



BRINKWORTH, B.J. 2002. Solar energy for man. Salisbury: Compton Press

CHIRIVI G. Hernando. 2004. Ecobiología. Bogotá. Universidad Santo Tomas. Centro de enseñanza Descolarizada.

CURTIS, Helena y N.Sue Barnes. 2000. Biología 6a ed. Madrid: Médica Panamericana.

ENVIRONMENT CANADA. The acid rain story. Ottawa: Enviroment Canada

GUTHRIE-BROWN, J. 2007. Hydroelectric Engineering Practice , II. London: Blackie.

HAM, R. K. 2002. Solid waste management practices and developments. Public works.

HENRY, J. G. y S. W. HEINKE. 1999. Ingeniería ambiental. 2ª ed. Prentice Hall, Mexico.

HOUGHTON, J.T. et al, 1990. Climate change. The IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University press.

JARAMILLO – ANTILLON, Juan. 2010. Ecología. Salud y enfermedad. Acta Médica Costarricense.

KNEENE, Allen V. *et al.* 1994. Ecología y contaminación. Buenos Aires: Marymar.

KORMANDY, Edward J. 1993. Conceptos de ecología. Madrid: Alianza.

- LOPEZ, Jonathan F. *et al.* 1991. Manual de ecología. México: Trillas.
- LOWSON, M. H. 2000 Our Industry –Petroleum. London: British petroleum.
- MARTINEZ ORGADO, Carlos. 2008. Residuos tóxicos y peligrosos. Madrid: MOPU, Centro de Publicaciones.
- MASTER, G.M. 2004. Introduction to Environmental Science and Technology. New York: Wiley.
- MC MULLAN, J.T. *et al.* 2006. Energy Resources and Supply. London: Wiley Interscience.
- MILLER, F.C. 2001. Biodegradation of solid waste by composting. New York: Elseviers.
- MONGE, Carlos. 1978. Ecología y salud. Bulletin of the Pan-American Health Organization. Santiago. Vol. 12 N° 1.
- NATIONAL COAL BOARD. 2004. Facts and Figures. London: National Coal Board.
- ODUM, Eugene P. 1995. Ecología. México: Continental S.A.
- PERKINS, H.C. Air pollution. New York: Mc Graw-Hill
- PRINGLE, Laurence. 1996. Introducción a la ecología. Ciencia de la vida. Buenos Aires: Marymar.
- ROBINSON, N. 2006. Solar radiation. Amsterdam: Elsevier

SÁNCHEZ PÉREZ, G. Mar 2002. Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. Economía y Desarrollo. Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Pp 79-86.

SARMIENTO, Guillermo. 2004. Los ecosistemas y la ecosfera. Barcelona: Blume.

SILVA HERRERA, J. Enero 30 - 2010. Una plegaria global para todos los bosques. El tiempo, pp 6-7.

STOLI, Harold et al. 2002. Ecología y protección de la naturaleza. Madrid: Blume.

SUTTON, David B. y N. Paul HARMON. 1985. Fundamentos de Ecología. México: Limusa.

TURK, Amos *et al.* 2007. Tratado de Ecología 4a ed. México: Interamericana.

VISSMAN, W. and M. J. HAMMER. 2003. Water supply and Pollution Control. 5<sup>th</sup> ed. New York: Harper G. Row

