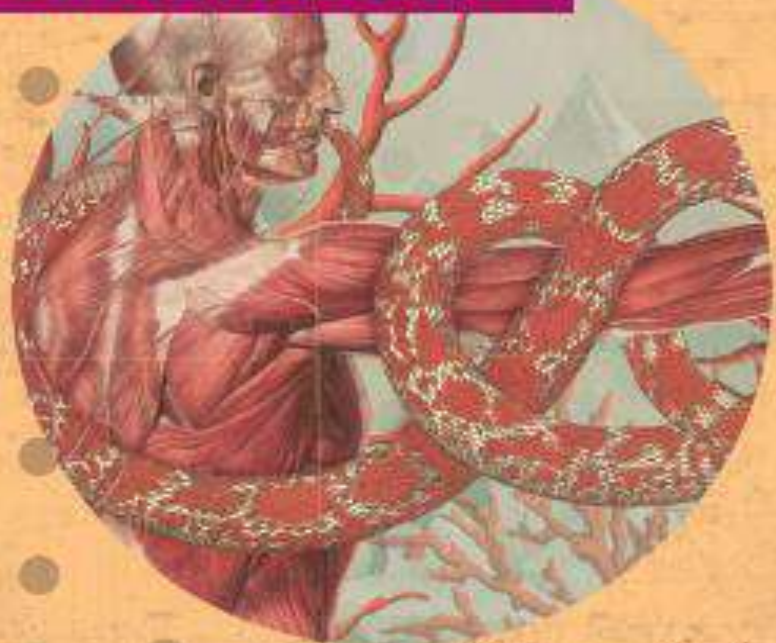


# INICIACIÓN A LAS CIENCIAS MÉDICAS



## EQUIPO RESPONSABLE

Coordinador:  
Carlos Enrique Recce

Colaboradores:  
Marcela Martinelli  
Mariana Castañeira  
Ricardo Escovich  
Leandro Pflanz



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

# Índice

<b>Unidad 1: Introducción a la biología celular</b>	7
Niveles de organización biológica	7
Las células	8
Procariotas y eucariotas	11
Métodos de observación de células y tejidos	13
El microscopio óptico y sus partes	15
<b>Unidad 2: Base química de los seres vivos</b>	17
Átomos y moléculas	17
Los átomos	17
Enlaces y moléculas	18
Reacciones químicas	20
Elementos biológicamente importantes	20
Agua	21
La estructura del agua	21
El agua como solvente	22
Ionización del agua: ácidos y bases	22
Moléculas inorgánicas	24
Moléculas orgánicas	24
El carbono como principal componente de las moléculas orgánicas	24
Hidratos de carbono	26
Los lípidos	27
Aminoácidos y proteínas	30
Nucleótidos y ácidos nucleicos	33
ADN	36
ARN	38
ARN mensajero	38
ARN de transferencia	38
ARN ribosómico	39
ARN nucleares pequeños	39
Micro-ARN, y pequeños ARN, siARN que interfieren, y ARN no codificador	39
<b>Unidad 3: La célula. Estructura y función</b>	40
Anatomía celular	40
Límites celulares y subcelulares: la membrana plasmática	40
El núcleo	41
Cromatina. El cromosoma eucariótico	42
Nucléolo	44
Membrana Nuclear	44
Nucleoplasma	44
Citoplasma y orgánulos	44
Organelas membranosas	45
Retículo Endoplasmático	45
Aparato de Golgi	45
Lisosomas	46
Peroxisomas	46
Endosomas	47
Mitocondrias	47
Vesículas	47
Organelas no membranosas	47
Ribosomas	47
Proteosomas	48
Citoesqueleto	49
Centrosoma	50
Inclusiones	51
Fisiología celular	51
Como entran y salen sustancias de las células	51
Procesos de transporte pasivo	52
Difusión	52
Difusión simple	53
Ósmosis	53
Difusión facilitada	54
Transporte mediado por canales	54
Transporte mediado por transportador o carrier	54

Procesos de transporte activo.....	55
Transporte mediante bombas.....	55
Transporte mediado por vesículas.....	56
Fagocitosis.....	56
Pinocitosis.....	56
Endocitosis mediada por receptores.....	57
Comunicación célula-célula.....	58
Metabolismo celular.....	58
El flujo de Energía.....	59
Reacciones de oxidación-reducción.....	59
El metabolismo.....	60
Las enzimas.....	61
El ATP.....	64
Glucólisis y respiración celular.....	65
Oxidación de la glucosa.....	65
Glucólisis.....	66
Respiración celular.....	67
Las vías anaerobias.....	69
Regulación de la glucólisis y respiración.....	70
Otras vías catabólicas y anabólicas.....	70
Ciclo celular. División y muerte de las células.....	71
La división celular.....	72
Ciclo celular.....	72
Haploidía y diploidía.....	73
Mitosis.....	74
Meiosis y reproducción sexual.....	75
Las fases de la meiosis.....	75
Muerte celular. Apoptosis y necrosis.....	76
El control de la proliferación celular y el cáncer.....	77
Alteraciones cromosómicas.....	77
El ADN, bases químicas del código genético.....	78
La replicación del ADN.....	78
Transcripción del ADN.....	80
Código genético.....	82
La síntesis de proteínas o traducción.....	82
Mutaciones.....	84
La regulación de la expresión génica en los eucariotas.....	85
<b>Unidad 4: Histología, de células a tejidos</b> .....	<b>86</b>
Tejido epitelial.....	87
Epitelio de revestimiento.....	88
Epitelio glandular.....	89
Tejido conectivo.....	89
Tejido muscular.....	92
Músculo liso.....	93
Músculo estriado esquelético.....	93
Músculo estriado cardíaco.....	93
Tejido nervioso.....	93
<b>Unidad 5: Anatomía Humana</b> .....	<b>96</b>
Métodos de estudio.....	96
Terminología anatómica.....	97
Nómina anatómica.....	97
Posición anatómica de referencia.....	97
Ejes y planos anatómicos de referencia.....	97
Términos de posición.....	98
Partes del cuerpo humano.....	98
Cavidades del organismo.....	99
Fascias.....	99
Membranas serosas.....	99
Meninges.....	99
Piel.....	100
Sistema esquelético.....	100
Configuración externa de los huesos.....	101
Esqueleto cartilaginoso.....	101

Estructura de los huesos.....	101
Vascularización.....	101
Accidentes óseos.....	102
Articulaciones.....	102
Descripción de las articulaciones.....	103
Sinartrosis.....	103
Anfiartrosis.....	104
Articulaciones sinoviales o diartrosis.....	104
Tipos de diartrosis o articulaciones sinoviales.....	104
Vasos y nervios de las articulaciones.....	105
Movimientos articulares.....	106
Mecánica articular.....	106
Esqueleto óseo.....	107
Esqueleto de la cabeza.....	107
Vistas del cráneo.....	108
Cavidad craneal.....	110
Descripción de los huesos del cráneo.....	111
Frontal.....	111
Parietal.....	111
Occipital.....	111
Temporal.....	112
Esfenoides.....	113
Etmoides.....	113
Descripción de los huesos de la cara.....	114
Maxilar.....	114
Malar o cigomático.....	115
Nasales.....	115
Lagrimal.....	115
Vómer.....	115
Palatino.....	116
Cornete nasal inferior.....	116
Mandíbula.....	116
Articulaciones de la cabeza.....	117
Hioides.....	117
Huesos del oído.....	118
Columna vertebral.....	118
Vértebras móviles.....	119
Vértebras tipo.....	119
Características de las vértebras.....	119
Vértebras cervicales.....	119
Vértebras torácicas.....	120
Vértebras lumbares.....	121
Vértebras sacras y coccígeas.....	121
Diferencias entre las vértebras.....	122
Articulaciones de la columna vertebral.....	122
Esqueleto del tórax.....	122
Costillas.....	123
Esternón.....	123
Articulaciones del tórax.....	124
Generalidades del tórax.....	124
Huesos del miembro superior.....	124
Clavícula.....	124
Escápula.....	124
Húmero.....	125
Radio.....	125
Cúbito.....	125
Huesos de la mano.....	125
Articulaciones del miembro superior.....	126
Cintura escapular.....	126
Hombro.....	126
Codo.....	126
Articulaciones de la mano.....	126
Huesos del miembro inferior.....	126
Cintura pélvica.....	126
Fémur.....	127

Huesos de la pierna.....	127
Huesos del pie.....	128
Articulaciones del miembro inferior.....	128
Componentes del esqueleto óseo.....	129
Sistema muscular.....	129
Anatomía macroscópica de los músculos.....	129
Inserciones de los músculos.....	133
Fascias o aponeurosis.....	133
Vainas fibrosas y vainas sinoviales de los tendones.....	133
Bolsas serosas anexas a los músculos.....	133
Espacios de deslizamiento.....	133
Anatomía funcional de los músculos.....	133
Sistema nervioso.....	134
Sistema nervioso central.....	135
Encéfalo.....	135
Cerebro posterior o Rombencéfalo.....	136
Médula oblongada o Bulbo raquídeo.....	136
Puente o Protuberancia.....	136
Cerebelo.....	136
Cerebro medio o Mesencéfalo.....	137
Cerebro anterior o prosencéfalo (telencéfalo y diencefalo).....	137
Fibras de la sustancia blanca cerebral.....	137
Médula espinal.....	138
Sistema nervioso periférico.....	138
Nervios.....	138
Clasificación.....	139
Sistema endócrino.....	141
Tiroides.....	141
Paratiroides.....	142
Suprarrenales.....	142
Hipófisis.....	143
Sistema cardiovascular.....	144
Tipos de circulación.....	144
Casos particulares de circulación.....	145
Corazón.....	145
Configuración externa.....	146
Configuración interna.....	147
Constitución anatómica del corazón.....	148
Sistema de conducción.....	148
Vascularización del corazón.....	149
Inervación cardíaca.....	149
Sistema vascular.....	150
Sistema de la arteria aorta y sus ramas principales.....	150
Tronco pulmonar.....	151
Sistema venas cavas.....	151
Sistema venas ácigos.....	152
Venas pulmonares.....	153
Sistema inmunitario y órganos linfáticos.....	153
Vasos linfáticos.....	153
Timo.....	154
Médula ósea.....	154
Bazo.....	154
Ganglios.....	154
Amígdalas.....	155
Sistema respiratorio.....	155
Nariz, fosas nasales y senos paranasales.....	156
Laringe.....	157
Tráquea.....	159
Bronquios principales derecho e izquierdo.....	159
Pulmones.....	160
Sistema digestivo.....	162
Tubo digestivo.....	162
Cavidad bucal.....	162
Faringe.....	163
Esófago.....	164

Estómago.....	165
Intestino delgado.....	165
Intestino grueso.....	166
Glándulas anexas.....	167
Glándulas salivales.....	167
Hígado.....	168
Vías biliares.....	169
Vesícula biliar.....	169
Páncreas.....	169
Peritoneo.....	170
Sistema urinario.....	171
Riñones.....	171
Uréteres.....	172
Vejiga.....	172
Uretra.....	173
Sistema Genital.....	173
Sistema genital masculino.....	174
Testículos.....	174
Epidídimo.....	174
Conducto deferente.....	175
Vesículas seminales.....	175
Próstata.....	175
Glándulas bulbouretrales.....	175
Escroto.....	175
Pene.....	176
Composición del líquido seminal.....	176
Sistema genital femenino.....	176
Ovario.....	177
Trompa uterina.....	177
Útero.....	177
Vagina.....	178
Vulva.....	178
Glándulas mamarias.....	179
Perineo o periné.....	180
<b>ANEXO: Algunos conceptos de matemática</b> .....	<b>181</b>
Razones y proporciones.....	181
Razón.....	181
Proporciones.....	184
Ecuaciones.....	187
Funciones.....	195
Función lineal.....	202
Función cuadrática.....	205
<b>Bibliografía</b> .....	<b>212</b>

## UNIDAD 1

### Introducción a la biología molecular y celular

La biología es el estudio de los seres vivos, éstos poseen ciertas características en común. El estudio de los seres vivos nos muestra la diversidad de todas las formas de vida, cuyos comportamientos, morfologías y funciones difieren entre sí, pero a nivel molecular y celular presentan una organización única. El objeto de la biología molecular y celular es el estudio de este plan de organización, es decir, es el análisis de los diferentes componentes celulares que conforman todas las formas de vida. La teoría celular sostiene que todo organismo vivo está formado por células, por lo tanto, la célula es la unidad estructural y funcional de todos los seres vivos.

### Niveles de organización biológica

Uno de los principios fundamentales de la biología es que los seres vivos obedecen a las leyes de la física y la química. Los organismos están constituidos por los mismos componentes químicos (átomos y moléculas) que las cosas inanimadas. Esto no significa, que los organismos sean solamente los átomos y moléculas de los cuales están compuestos; hay diferencias reconocibles entre los sistemas vivos y los no vivos.

En los organismos vivos los átomos que lo constituyen se combinan entre sí de forma muy específica formando una gran cantidad de compuestos diferentes. Gran parte del hidrógeno y del oxígeno está presente en forma de agua, la cual constituye la mayor parte del peso de los seres vivos. Además del agua, cada organismo contiene gran cantidad de macromoléculas, algunas de ellas desempeñan funciones estructurales, otras regulan la función celular y otras están relacionadas con la información genética. Algunas de las macromoléculas actúan recíprocamente con el agua para formar una película delicada y flexible, una membrana, que encierra a todos los otros átomos y moléculas que componen a la célula. Así encerrados, constituyen una célula, una entidad viva que es la unidad de la vida.

Todo organismo vivo puede transformar la energía tomando moléculas del medio y utilizarlas para sus procesos de crecimiento y reproducción, también puede intercambiar información genética con otras células, responden a diversos estímulos ya sea del interior o del exterior, y pueden moverse. A medida que la vida fue evolucionando, aparecieron formas de organización más complejas. Sin embargo, los niveles más simples de organización persistieron en especies que también fueron evolucionando, muchas de las cuales sobrevivieron hasta la actualidad.

La materia se organiza en diferentes niveles de complejidad creciente denominados niveles de organización. Cada nivel proporciona a la materia propiedades que no se encuentran en los niveles inferiores.

Los sistemas vivos tienen bases químicas, pero la cualidad de vida por sí misma surge a nivel celular. Las interacciones entre los componentes de cada nivel y de los niveles inferiores, permiten el desarrollo del siguiente nivel de organización.

Los niveles van desde las partículas subatómicas hasta organismos complejos, los que a su vez forman comunidades que se relacionan unas a otras por el flujo de la energía y la materia. Cada una de las partes que componen a los seres vivos cumplen una función determinada.

El último nivel de organización biológica, la biósfera, resulta de las interacciones recíprocas entre todos los niveles de organización.



Los niveles son los siguientes:

- Subatómico, formado por las partículas constituyentes del átomo como los protones, neutrones y electrones.
- Atómico, compuesto por los átomos que son la parte más pequeña de un elemento químico. Toda la materia está formada por átomos. Ejemplo: el átomo de hierro, el de carbono, nitrógeno u oxígeno.
- Molecular, formado por las moléculas, que son combinaciones de dos o más átomos iguales o distintos. Por ejemplo, agua, dióxido de carbono, oxígeno.
- Macromolecular: comprende moléculas orgánicas grandes que forman parte de los organismos vivos. Por ejemplo, ADN, proteínas.
- Supramacromolecular: sus componentes son más complejos que el nivel macromolecular, surge de la interacción de macromoléculas. Por ejemplo, los virus.
- Organular; las macromoléculas se organizan para formar estructuras llamadas orgánulos u organelas que pueden desempeñar una función específica dentro de las células. Por ejemplo: ribosomas, mitocondrias, etc.
- Celular, comprende a las células, que son la unidad más pequeña de vida. Algunos organismos son unicelulares. Por ejemplo, células epiteliales, células nerviosas, células bacterianas, etc.
- Tejido, grupo de células similares que desempeñan una función específica. Por ejemplo, tejido nervioso.
- Órgano, estructura compuesta por varios tipos de tejidos que forman una unidad funcional. Por ejemplo, cerebro.
- Sistema de órganos, consta de diversos números y tipos de órganos interrelacionados y dispuestos de tal modo que pueden desempeñar funciones complejas. Por ejemplo, sistema nervioso.
- Individuo u organismo, representa un conjunto de estructuras interactivas sometido a una extraordinaria coordinación que puede sobrevivir y prosperar en un medio. Pueden ser una o más células, caracterizadas por un único tipo de información genética codificada en su ADN. Es decir que un organismo puede ser unicelular o pluricelular. Los individuos pluricelulares muestran tipos celulares especializados y división de funciones en tejidos, órganos y sistemas. Por ejemplo, ser humano.
- Especie, conjunto de organismos muy similares que pueden aparearse entre sí. Por ejemplo, perros.
- Población, conjunto de individuos de la misma especie que viven en una misma zona y en un mismo tiempo. Por ejemplo, manada de elefantes.
- Comunidad, dos o más poblaciones de diferentes especies que viven e interactúan en la misma área.
- Ecosistema, una comunidad, junto a su ambiente inanimado y las relaciones que establecen entre ellas.
- Biósfera, parte de la Tierra habitada por seres vivos, incluye los componentes tanto vivos como no vivos, es decir, la superficie de la Tierra.

En cada nivel, la interacción entre sus componentes determina las propiedades de ese nivel. Así, desde el primer nivel de organización con el cual los biólogos habitualmente se relacionan, el nivel subatómico, hasta el nivel de la biosfera, se producen interacciones permanentes.

Durante un largo espacio de tiempo estas interacciones dieron lugar al cambio evolutivo. En una escala de tiempo más corta, estas interacciones determinan la organización de la materia viva.

## Las células

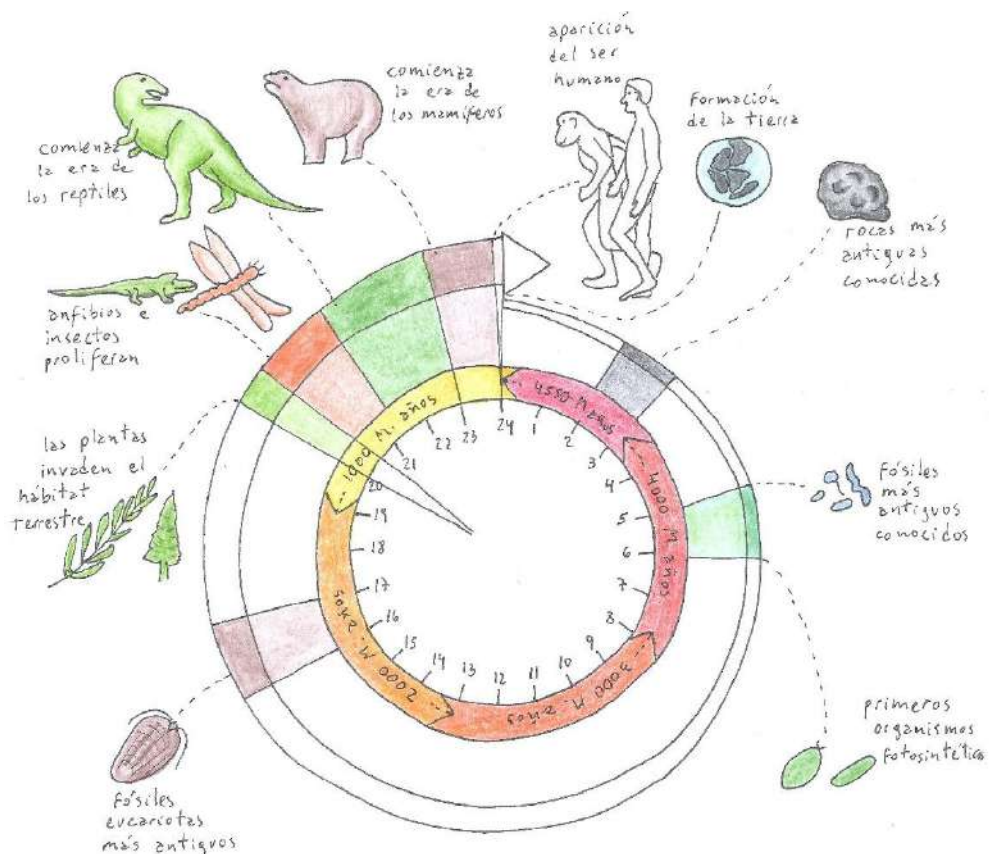
La vida se caracteriza por una serie de propiedades que emergen en el nivel de organización celular. La teoría celular constituye uno de los principios fundamentales de la biología y establece que:

- todos los organismos vivos están formados por una o más células;
- las reacciones químicas de un organismo vivo, incluyendo los procesos liberadores de energía y las reacciones biosintéticas, tienen lugar dentro de las células;
- las células se originan de otras células,



- las células contienen la información hereditaria de los organismos de los cuales son parte y esta información pasa de la célula progenitora a la célula hija.

Si nos preguntamos cómo empezó la vida hay evidencias que aportan muchas pistas acerca de la aparición de la vida en la Tierra. La edad de nuestro planeta se estima en 4.600 millones de años. Como evidencias de vida, se han encontrado microfósiles de células semejantes a bacterias que tienen 3.500 millones de años de antigüedad y existen otras evidencias indirectas de vida de hace 3.850 millones de años. Se han propuesto diversas hipótesis para explicar cómo podrían haber surgido compuestos orgánicos en forma espontánea en la Tierra primitiva y estructuras semejantes a células a partir de esos agregados de moléculas orgánicas. Las células más tempranas pudieron haber sido autótrofas. Los primeros autótrofos pueden haber sido quimiosintéticos o fotosintéticos aportando oxígeno a la atmósfera y permitiendo el desarrollo de la vida tal cual la conocemos. Con la aparición de la fotosíntesis, la energía que fluía a través de la biosfera adoptó su forma moderna dominante: la energía radiante del Sol es tomada por autótrofos fotosintéticos y encauzada por ellos hacia los organismos heterótrofos. Los heterótrofos modernos incluyen a los hongos y a los animales, al igual que a muchos tipos de organismos unicelulares. Los autótrofos modernos incluyen a otros tipos de organismos unicelulares y a las plantas verdes. Hay dos tipos distintos de células: las procariotas y las eucariotas. Las células procariotas carecen de núcleos limitados por membrana y de la mayoría de las organelas que se encuentran en las células eucariotas. Los procariotas fueron la única forma de vida sobre la Tierra durante casi 2.000 millones de años; después, hace aproximadamente 1.500 millones de años, aparecieron las células eucariotas. Se ha postulado la llamada "teoría endosimbiótica" para explicar el origen de algunas organelas eucariotas. Los organismos multicelulares, compuestos de células eucariotas especializadas para desempeñar funciones particulares, aparecieron en una época comparativamente reciente, sólo hace unos 750 millones de años.



Representación del tiempo biológico en 24 horas

La figura anterior muestra, resumidos en un día, los sucesos más importantes de la historia biológica durante los 4.600 millones de años de la Tierra. La vida aparece relativamente temprano, antes de las 6 de la mañana, en una escala de tiempo de 24 horas. Los primeros seres pluricelulares no surgen hasta bien entrada la tarde, y el Homo, el género al cual pertenecemos los humanos, hace su aparición casi al acabar el día, a sólo 30 segundos de medianoche. Los primeros organismos multicelulares hicieron su aparición hace apenas 750 millones de años y se cree que los principales grupos (hongos, plantas y animales) evolucionaron a partir de diferentes tipos de eucariotas unicelulares.

Desde una perspectiva bioquímica, tres características distinguen a las células vivas de otros sistemas químicos:

- la capacidad para duplicarse generación tras generación;
- la presencia de enzimas, las proteínas complejas que son esenciales para las reacciones químicas de las que depende la vida,
- una membrana que separa a la célula del ambiente circundante y le permite mantener una identidad química distinta.

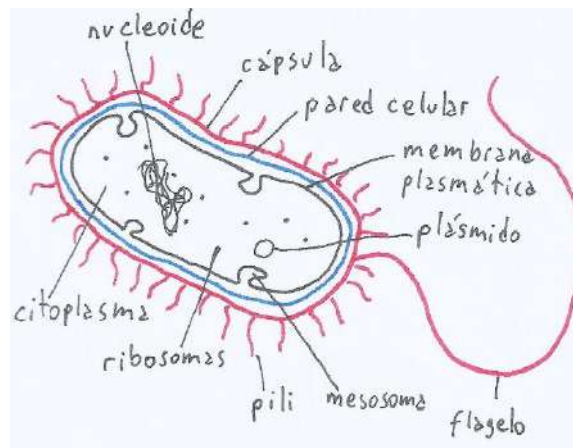
## Células procariotas y eucariotas

Todas las células comparten dos características esenciales. La primera es una membrana externa, llamada membrana celular o membrana plasmática, que separa el citoplasma de la célula de su ambiente externo. La otra es el material genético que consiste en la información hereditaria que dirige las actividades celulares, le permite reproducirse y transmitir sus características a la progenie. Existen dos tipos fundamentalmente distintos de células, las procariotas y las eucariotas.

Los organismos se agrupan en tres categorías principales llamadas dominios (Bacteria, Archaea y Eukarya). Dentro del dominio de los Eukarya se encuentran los reinos protistas, hongos, plantas y animales, todos ellos eucariontes. Los organismos pertenecientes al dominio Bacteria incluyen el reino de las Eubacterias. En el dominio Archaea se pueden mencionar las archeobacterias acidófilas, termoplasmatales y metanobacterias. Tanto las Eubacterias como las Archeobacterias son procariotas.

Los procariotas son esencialmente unicelulares, en algunos tipos las células forman racimos, filamentos o cadenas; este reino incluye formas quimiosintéticas, fotosintéticas y heterótrofas. Los protistas son un grupo diverso de organismos eucariota unicelulares y algunos multicelulares simples; incluyen tanto heterótrofos como autótrofos fotosintéticos. Los hongos, las plantas y los animales son organismos eucariota multicelulares. Todos los animales y hongos son heterótrofos, mientras que todas las plantas, con unas pocas excepciones curiosas (como la pipa india o monótrofa y la cuscuta, que son parásitas) son autótrofos fotosintéticos. Sin embargo, dentro del cuerpo de una planta multicelular, algunas de las células son fotosintéticas, como las células de una hoja, y algunas son heterótrofas, como las células de una raíz. Las células fotosintéticas suministran fuente de energía a las células heterótrofas de la planta.

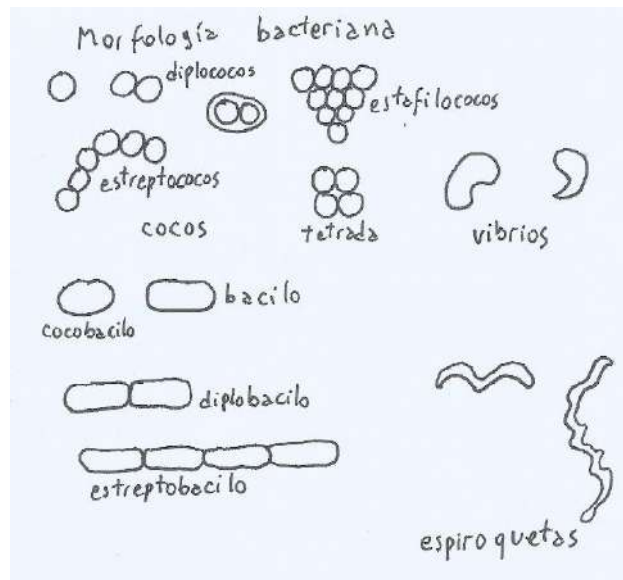
Las **células procariotas** no forman organismos pluricelulares, son todos unicelulares. En las células procariotas, el material genético es una molécula grande y circular de ADN a la que están débilmente asociadas diversas proteínas. Está ubicado en una región definida llamada nucleoide y carece de una membrana que lo rodee. Entre las características de las células procariotas que las diferencian de las eucariotas, podemos señalar: ADN desnudo y circular; división celular por fisión binaria; carencia de mitocondrias (la membrana citoplasmática ejerce la función que desempeñarían éstas), nucléolos y retículo endoplasmático. Su membrana plasmática carece de colesterol, lo que hace que sea más rígida. Tienen ribosomas, pero éstos son más pequeños que los de las células eucariotas. También poseen pared celular formada por peptidoglucanos, y pueden tener diferentes composición y espesores lo que permite su clasificación de acuerdo a la tinción de Gram. Algunas pueden vivir en condiciones de temperatura y ambiente extremos (alta salinidad, medios fuertemente ácidos o alcalinos, temperaturas extremas).



Esquema de una célula procariota

En cuanto a la forma de nutrirse, existen organismos procariotas autótrofos y heterótrofos. Según su forma se pueden clasificar en:

- Cocos: Su forma aproximadamente es esférica.
- Vibrios: Este tipo de células tienen forma de coma.
- Bacilos: Las células procariotas llamadas bacilos tienen forma de bastón.
- Espirilos: Como su propio nombre indica, estas células tienen forma helicoidal o espiral.



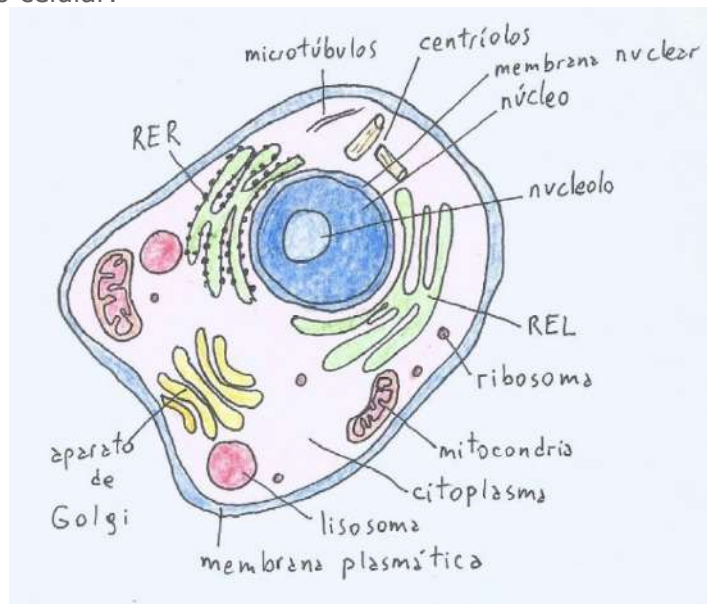
En las **células eucariotas**, el ADN es lineal y está fuertemente unido a proteínas especiales llamadas histonas. Dentro de la célula eucariota, el material genético está contenido en el núcleo, que es una estructura independiente rodeado por una doble membrana, la envoltura nuclear, que lo separa de los otros contenidos celulares que se encuentran en el citoplasma.

El citoplasma eucariota contiene una gran variedad de moléculas, complejos moleculares y organelas, éstas últimas son compartimientos internos dentro del citoplasma que realizan diversas funciones celulares.

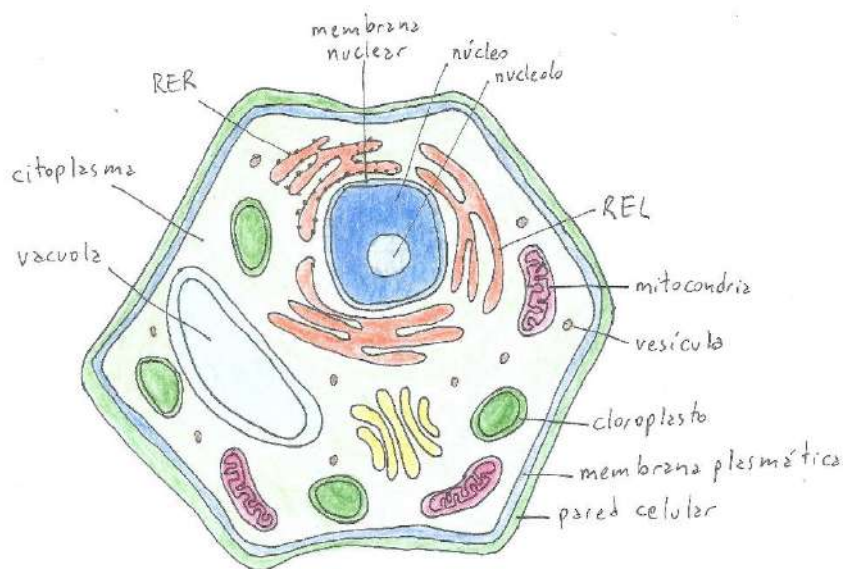
Ciertas células eucariotas, como las de las plantas y hongos, tienen una pared celular, aunque su estructura es diferente de la de las paredes celulares procariotas, en las eucariotas la pared celular está formada por celulosa. Otras células eucariotas, incluyendo las de nuestros propios cuerpos y las de otros animales, no tienen paredes celulares.

Otro rasgo que distingue a los eucariotas de los procariotas es el tamaño: las células eucariotas habitualmente son de mayor tamaño que las procariotas.

Las células eucariotas contienen ciertas proteínas que se organizan formando intrincadas estructuras que dan lugar a una especie de esqueleto interno, el citoesqueleto, que aporta sostén estructural y posibilita el movimiento celular.



*Esquema de una célula eucariota animal*



*Esquema de una célula eucariota vegetal*

La comparación entre los dos tipos de células nos muestra la mayor complejidad de las células eucariotas frente a las procariotas. Sin embargo, ambas comparten muchas semejanzas en su funcionamiento, lo que indicaría el origen único de las diferentes formas de vida. Los científicos han podido establecer que, en algún momento de la historia de la Tierra, diversos tipos de eucariotas se escindieron de un tronco procariótico, formando ramas que evolucionaron de manera independiente. El paso de los procariotas a los primeros eucariotas (los protistas) fue una de las transiciones evolutivas principales sólo precedida en orden de importancia por el origen de la vida. La cuestión de cómo ocurrió esta transición es actualmente objeto de viva discusión. Una hipótesis interesante, que gana creciente aceptación, es que se originaron células de mayor tamaño, y más complejas, cuando ciertos procariotas comenzaron a alojarse en el interior de otras células.

La investigadora L. Margulis propuso el primer mecanismo para explicar cómo pudo haber ocurrido esta asociación. La llamada "teoría endosimbiótica" (endo significa interno y simbiote se refiere a la relación de beneficio mutuo entre dos organismos) intenta explicar el origen de algunas organelas eucariotas. Hace aproximadamente 2.500 millones de años, cuando la atmósfera era ya rica en

oxígeno como consecuencia de la actividad fotosintética de las cianobacterias, ciertas células procariotas habrían adquirido la capacidad de utilizar este gas para obtener energía de sus procesos metabólicos. La capacidad de utilizar el oxígeno habría conferido una gran ventaja a estas células aeróbicas, que habrían prosperado y aumentado en número. En algún momento, estos procariotas aeróbicos habrían sido fagocitados por células de mayor tamaño, sin que se produjera una digestión posterior. Algunas de estas asociaciones simbióticas habrían sido favorecidas por la presión selectiva: los pequeños simbiosomas aeróbicos habrían hallado nutrientes y protección en las células hospedadoras a la vez que éstas obtenían los beneficios energéticos que el simbiote les confería. Estas nuevas asociaciones pudieron conquistar nuevos ambientes. Así, las células procariotas, originalmente independientes, se habrían transformado en las actuales mitocondrias, pasando a formar parte de las células eucariotas.

Investigaciones recientes sugieren que la relación metabólica entre los miembros del par simbiótico podría haber sido diferente de lo postulado por Margulis. En la actualidad, varias líneas de evidencia sustentan la teoría de la endosimbiosis. De forma análoga, se cree que los procariotas fotosintéticos ingeridos por células no fotosintéticas de mayor tamaño fueron los precursores de los cloroplastos. Por medio de la hipótesis endosimbiótica, Margulis también explica el origen de cilias y flagelos por la simbiosis de ciertas células con espiroquetas de vida libre. La mayor complejidad de la célula eucariota la dotó de un número de ventajas que finalmente posibilitaron la evolución de organismos multicelulares.

El cuerpo humano está constituido por billones de células individuales, aproximadamente 200 tipos diferentes de células, cada una especializada para su función particular, pero todas trabajando en conjunto de forma cooperativa.

## Métodos de observación de células y tejidos

La observación de células y estructuras biológicas es dificultosa porque las células son transparentes y de un tamaño muy pequeño, por eso para ver las células y las estructuras subcelulares se necesitan microscopios, ya que el ojo tiene un limitado poder de resolución.

El progreso experimentado en la biología celular y molecular es consecuencia del desarrollo de nuevas metodologías de estudio, como por ejemplo el desarrollo de diferentes tipos de microscopios.

El microscopio óptico de campo claro está compuesto por una parte mecánica y por un sistema óptico. En este sistema óptico se refractan los rayos de luz que provienen del objeto en estudio proporcionando una imagen final de mayor tamaño. La transparencia de las células hace necesario que muchas veces se utilicen coloraciones para resaltar los distintos componentes celulares o también el uso de diferentes tipos de microscopios como por ejemplo el de contraste de fases, de interferencia o de campo oscuro.

Los sistemas ópticos se caracterizan por diferentes propiedades como son el aumento, poder de resolución, límite de resolución y poder de definición.

El aumento de un microscopio es la relación entre el tamaño del objeto y el tamaño de la imagen que se observa, se calcula multiplicando los aumentos del ocular y el objetivo. El poder de resolución es la capacidad para distinguir los detalles de las diferentes estructuras, es decir, de dar imágenes distintas y separadas de dos puntos situados muy cerca entre sí en el objeto que observamos. El límite de resolución es la distancia mínima que separa dos puntos para poder ser discriminados o bien el objeto más pequeño que es posible ser visualizado. El límite de resolución es la inversa del poder de resolución. El ojo humano sólo tiene un poder de resolución de aproximadamente 0,1 milímetros, el microscopio óptico de 0,2  $\mu\text{m}$  y el microscopio electrónico de 2 a 10  $\text{Å}$ . El poder de definición se refiere a la capacidad de dar imágenes claras de contornos bien definidos.

La mayoría de las células eucariotas miden entre 10 y 30 micrómetros de diámetro, entre 3 y 10 veces menos que el poder de resolución del ojo humano; las células procariotas son aún más pequeñas. Para distinguir células individuales, y con mayor razón las estructuras que las componen, debemos usar instrumentos que suministren una mejor resolución. La mayor parte del conocimiento actual acerca de la estructura celular se obtuvo con la ayuda de tres tipos diferentes de instrumentos:

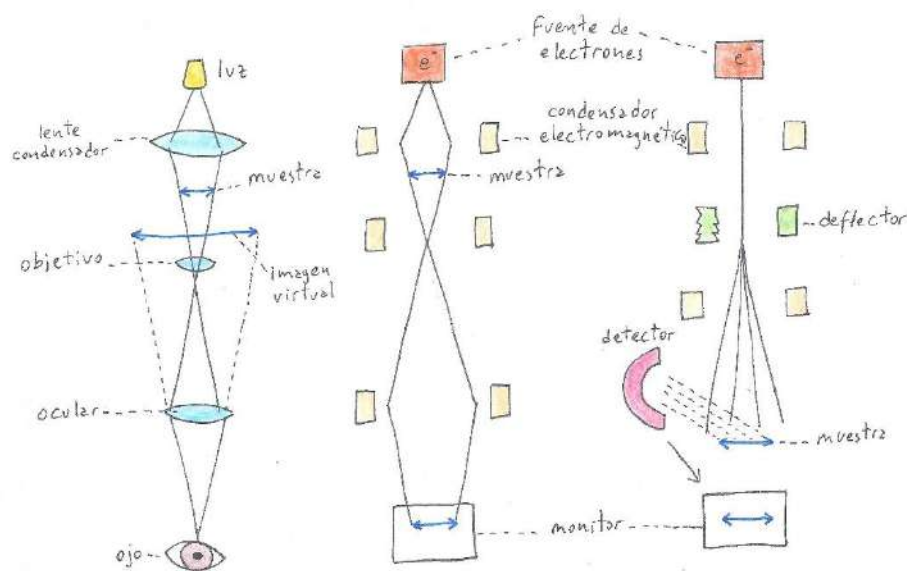


el microscopio óptico o fotónico, el microscopio electrónico de transmisión y el microscopio electrónico de barrido.

Se han desarrollado además otras técnicas microscópicas. Los sistemas ópticos especiales de contraste de fase, de interferencia diferencial y de campo oscuro hacen posible estudiar células vivas. Un avance tecnológico importante fue el uso de computadoras y cámaras de video integradas a los microscopios.

Las lentes que focalizan la luz en el microscopio óptico son de vidrio o de cuarzo; las de los microscopios electrónicos son electroimanes. Tanto en el microscopio óptico como en el electrónico de transmisión, el rayo de iluminación atraviesa la muestra. En el microscopio electrónico de barrido, se refleja sobre la superficie de la muestra y nos da una imagen de la superficie de las células.

Los mejores microscopios ópticos tienen un poder de resolución de  $0,2 \mu\text{m}$ , o  $200 \text{ nm}$ , aproximadamente 500 veces mayor que el del ojo. Con el microscopio óptico podemos distinguir las estructuras más grandes dentro de las células eucariotas y también células procariotas individuales. Sin embargo, no podemos observar la estructura interna de las células procariotas ni distinguir entre las estructuras más finas de las células eucariotas.



*Comparación entre diversos tipos de microscopios, primero se muestra el microscopio óptico, el segundo es un microscopio electrónico de transmisión y por último el microscopio electrónico de barrido.*

Con el microscopio electrónico de transmisión, el poder de resolución aumentó cerca de 1.000 veces respecto del microscopio óptico. Esto se logra utilizando "iluminación" de una longitud de onda mucho más corta, que consiste en haces de electrones en lugar de rayos de luz. Las áreas del espécimen que permiten la transmisión de más electrones, regiones electrotransparentes, aparecen brillantes y las áreas que dispersan los electrones, regiones electroopacas, son oscuras. La microscopía electrónica de transmisión suministra en la actualidad un poder de resolución de aproximadamente  $0,2 \text{ nm}$ , unas 500 mil veces mayor que el del ojo humano. Esa medida equivale más o menos al doble del diámetro de un átomo de hidrógeno.

El poder de resolución del microscopio electrónico de barrido sólo es de aproximadamente  $10 \text{ nm}$ ; sin embargo, este instrumento se ha transformado en una herramienta valiosa para los biólogos. En la microscopía electrónica de barrido los electrones que se registran provienen de la superficie del espécimen y no de un corte a través de éste. Las variaciones en la superficie del espécimen afectan el patrón con que se dispersan los electrones; los huecos y fisuras aparecen oscuros y las protuberancias y crestas son claras. La imagen que finalmente se observa sobre una pantalla de televisión sugiere al observador sensaciones de relieve que corresponden en muy buena aproximación a la topografía de la muestra observada. Se obtienen así representaciones

tridimensionales vívidas de las células y de las estructuras celulares, lo cual compensa, en parte, su resolución limitada.

Para ser observadas, las muestras deben ser sometidas a un tratamiento previo. Tanto en el microscopio óptico como en el microscopio electrónico de transmisión, la formación de una imagen con un contraste perceptible exige que diferentes partes de la célula difieran en su transparencia al haz de iluminación, ya sean rayos de luz o electrones.

Las células vivas y sus partes componentes son casi completamente transparentes a la luz porque aproximadamente el 70% del peso de las células corresponde al agua, a través de la cual la luz pasa fácilmente. Más aun, el agua y las moléculas mucho más grandes que forman estructuras celulares se componen de pequeños átomos de peso atómico bajo (CHNOPS). Estos átomos son relativamente transparentes a los electrones, que son desviados fuertemente por los átomos de peso atómico elevado, como los de los metales pesados. Para crear suficiente contraste cuando se usa el microscopio óptico, las células deben ser tratadas con colorantes u otras sustancias que se adhieran diferencialmente a componentes subcelulares específicos, o reaccionen con ellos, produciendo regiones de opacidad diferente. Para el microscopio electrónico los especímenes se tratan por lo general con compuestos de metales pesados.

Los especímenes que serán estudiados usando un microscopio óptico convencional o un microscopio electrónico de transmisión deben ser fijados, teñidos, deshidratados (para el microscopio electrónico), incluidos y seccionados en cortes finos. Las réplicas de las superficies generalmente se preparan cuando se las quiere estudiar con el microscopio electrónico de barrido.

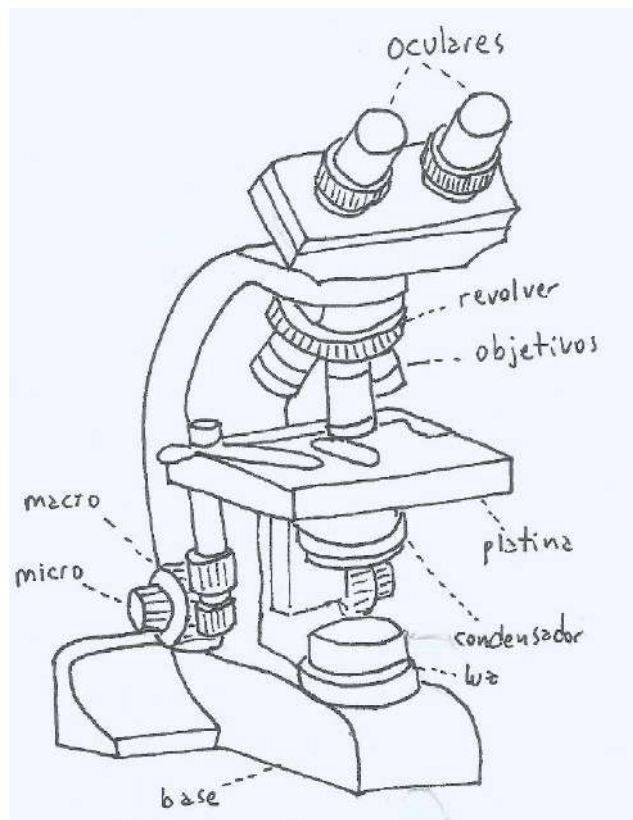
Para observar células vivas se usan otras técnicas, como microscopios de contraste de fase y de interferencia diferencial, sistemas ópticos especialmente diseñados que intensifican la escasa interferencia y proporcionan un mayor contraste. La resolución de estos microscopios es limitada, como ocurre en un microscopio óptico común, pero suministran una perspectiva diferente de la célula viva, mostrando aspectos difíciles de detectar con otros sistemas.

Una técnica usada con frecuencia para observar las células vivas es la microscopia de campo oscuro. El haz de iluminación llega a la muestra desde el costado y los sistemas de lentes detectan la luz reflejada por el espécimen, que aparece como un objeto brillante contra un fondo oscuro. Los rasgos de las células que son invisibles en otras microfotografías, a menudo adquieren gran relieve en las de campo oscuro.

En la actualidad se está produciendo un rápido progreso en el uso de otras técnicas microscópicas; por ejemplo, acoplando cámaras de televisión a los microscopios ópticos es posible efectuar las observaciones en la pantalla y grabarlas en una cinta de video o en una computadora personal. Se puede reducir el "ruido" de fondo, mejorar el contraste e intensificar aspectos particulares ajustando los controles (o ejecutando determinadas operaciones con software especialmente diseñado para tal fin). Las técnicas de televisión aplicadas al estudio de la célula viva revelan procesos no vistos previamente dentro de la célula.

## El microscopio óptico y sus partes





*El microscopio óptico y sus partes*

Como vimos anteriormente, el microscopio óptico está compuesto por una parte mecánica o de sostén y una parte óptica.

La parte mecánica comprende:

- Pie o base de apoyo
- Brazo
- Platina: estructura móvil donde se coloca la muestra, contiene una pinza que sostiene la misma y dos tornillos verticales que permiten desplazar la platina hacia adelante, atrás y a los costados, para poder recorrer la muestra.
- Tubo: estructura que sostiene los oculares
- Tornillo macrométrico: permite subir y bajar la platina para lograr un primer enfoque
- Tornillo micrométrico: permite subir y bajar la platina con movimientos finos, es para lograr el enfoque correcto
- Revólver: estructura giratoria que contiene los objetivos

La parte óptica está formada por:

- Ocular: lentes por donde se observa la muestra, generalmente su aumento es 10X
- Objetivos: lentes que enfocan la muestra, generalmente son de los siguientes aumentos, 4X, 10X, 40X y 100X.
- Fuente de luz: contiene una lámpara que emite luz visible
- Condensador: sistema de lentes que concentran el haz de luz sobre la muestra

## **Unidad 2**

### **Base química de los seres vivos**

#### **Átomos y moléculas**

La materia, incluso la que constituye los organismos más complejos, está constituida por combinaciones de elementos. Estos elementos son por ejemplo el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el calcio, el hierro, etc. La unidad más pequeña de un elemento es el átomo y los átomos, están constituidos por partículas más pequeñas que son las partículas subatómicas que son protones, neutrones y electrones. Los átomos son las unidades fundamentales de toda la materia, viva y no viva.

En la actualidad la estructura del átomo se explica por medio del modelo orbital. Los átomos son muy pequeños y constituyen un espacio predominantemente vacío. Los electrones se mueven alrededor del núcleo a una gran velocidad -una fracción de la velocidad de la luz- siendo la distancia entre el electrón y el núcleo, en promedio, unas 1.000 veces el diámetro del núcleo. En un átomo, existe una íntima relación entre los electrones y la energía. En un modelo simplificado, la distancia de un electrón al núcleo está determinada por la cantidad de energía potencial -o "energía de posición"- que posee el electrón. Así, los electrones tienen diferentes cantidades de energía de acuerdo a su ubicación con respecto al núcleo y su número y distribución determina el comportamiento químico de un átomo.

Las partículas formadas por dos o más átomos se conocen como moléculas, que se mantienen juntas por medio de enlaces químicos entre sus átomos. Existen dos tipos de enlaces químicos, los enlaces iónicos y los enlaces covalentes.

Las reacciones químicas involucran el intercambio de electrones entre los átomos y pueden representarse con ecuaciones químicas. Los tipos generales de reacciones químicas son:

- la combinación de dos o más sustancias para formar una sustancia diferente
- la disociación de una sustancia en dos o más
- el intercambio de átomos entre dos o más sustancias

Las sustancias formadas por átomos de dos o más elementos diferentes, en proporciones definidas y constantes, se conocen como compuestos químicos.

Los seres vivos están constituidos por los mismos componentes químicos y físicos que las cosas sin vida, y obedecen a las mismas leyes físicas y químicas. Seis elementos (C, H, N, O, P y S) constituyen el 99% de toda la materia viva. Los átomos de estos elementos son pequeños y forman enlaces covalentes estables y fuertes. Con excepción del hidrógeno, todos pueden formar enlaces covalentes con dos o más átomos, dando lugar a las moléculas complejas que caracterizan a los sistemas vivos.

## Los átomos

El núcleo de un átomo está formado por protones, que son partículas subatómicas cargadas positivamente y, a excepción del hidrógeno, neutrones, que no tienen carga. El número atómico es igual al número de protones en el núcleo de un átomo. El peso atómico de un átomo es, aproximadamente, la suma del número de protones y neutrones existentes en su núcleo. Las propiedades químicas de un átomo están determinadas por sus electrones (partículas pequeñas, cargadas negativamente), que se encuentran fuera del núcleo. El número de electrones en un átomo es igual al número de protones.

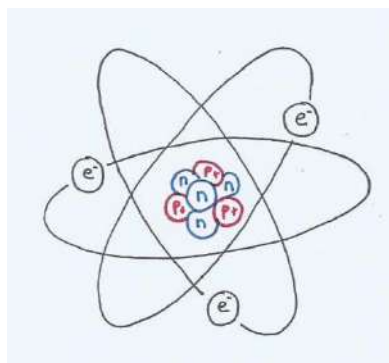
$$A(\text{número másico}) = P(\text{número de protones}) + N(\text{número de neutrones})$$

$$Z(\text{número atómico}) = P(\text{número de protones})$$

Todos los átomos de un elemento determinado tienen el mismo número de protones en su núcleo. En algunas ocasiones, diferentes átomos del mismo elemento contienen diferentes números de neutrones. Estos átomos que, difieren entre sí en sus pesos atómicos, pero no en sus números atómicos, se conocen como isótopos del elemento. Los núcleos de los diferentes isótopos de un mismo elemento contienen el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Así, los isótopos de un elemento tienen el mismo número atómico, pero difieren en sus pesos atómicos.

La mayoría de los elementos tienen varias formas isotópicas. Las diferencias en peso, aunque son muy pequeñas, son lo suficientemente grandes como para ser detectadas por los aparatos modernos de laboratorio. Además, si bien no todos, muchos de los isótopos menos comunes son radiactivos. Esto significa que el núcleo del átomo es inestable y emite energía cuando cambia a una forma más estable. La energía liberada por el núcleo de un isótopo radiactivo puede estar en forma de partículas subatómicas que se mueven rápidamente, de radiación electromagnética o en ambas formas.

Los electrones más próximos al núcleo tienen menos energía que los más alejados y, de esta manera, se encuentran en un nivel energético más bajo. Un electrón tiende a ocupar el nivel energético más bajo disponible, pero con el ingreso de energía puede ser lanzado a un nivel energético más alto. Cuando el electrón regresa a un nivel de energía más bajo, se libera energía.



Átomo

## Enlaces y moléculas

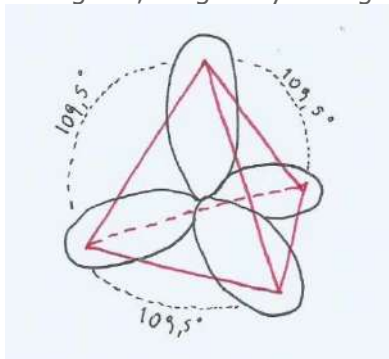
Cuando los átomos entran en interacción entre sí, completando sus niveles energéticos exteriores, se forman partículas nuevas más grandes. Estas partículas constituidas por dos o más átomos se conocen como moléculas y las fuerzas que las mantienen unidas se conocen como enlaces. Hay dos tipos principales de enlaces: iónico y covalente.

Los enlaces iónicos se forman por la atracción mutua de partículas de carga eléctrica opuesta; esas partículas, formadas cuando un electrón salta de un átomo a otro, se conocen como iones. Para muchos átomos, la manera más simple de completar el nivel energético exterior consiste en ganar o bien perder uno o dos electrones. Este es el caso de la interacción del sodio con el cloro que forma cloruro de sodio a través de un enlace iónico. Estos enlaces pueden ser bastante fuertes pero muchas sustancias iónicas se separan fácilmente en agua, produciendo iones libres. Muchos iones se encuentran en los líquidos corporales de los organismos vivos. Los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ) están presentes en los seres vivos y cumplen funciones vitales. Por ejemplo, el  $\text{Ca}^{2+}$  es necesario para la contracción de los músculos y para el mantenimiento de un latido cardíaco normal. El ion magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) forma parte de la molécula de clorofila, la cual atrapa la energía radiante del Sol en algunas algas y en las plantas verdes.

Los enlaces covalentes están formados por pares de electrones compartidos. Un átomo puede completar su nivel de energía exterior compartiendo electrones con otro átomo. En los enlaces covalentes, el par de electrones compartidos forma un orbital nuevo (llamado orbital molecular) que envuelve a los núcleos de ambos átomos. En un enlace de este tipo, cada electrón pasa parte de su tiempo alrededor de un núcleo y el resto alrededor del otro. Así, al compartir los electrones, ambos completan su nivel de energía exterior y neutralizan la carga nuclear.

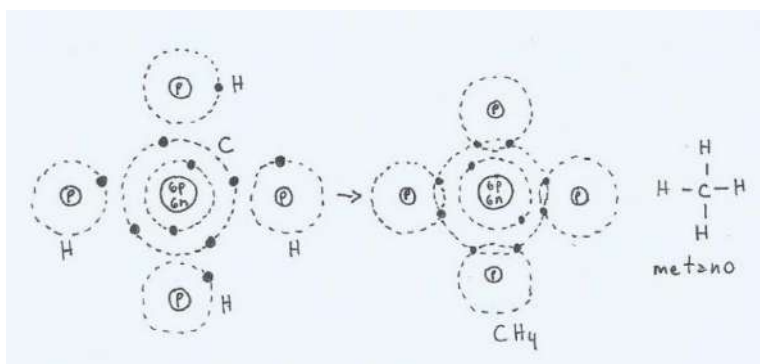
La capacidad de los átomos de carbono para formar enlaces covalentes es de extraordinaria importancia en los sistemas vivos. Un átomo de carbono tiene cuatro electrones en su nivel energético exterior. Puede compartir cada uno de estos electrones con otro átomo, formando hasta cuatro enlaces covalentes.

Los enlaces covalentes formados por un átomo de carbono pueden hacerse con cuatro átomos diferentes (los más frecuentes son hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) o con otros átomos de carbono.

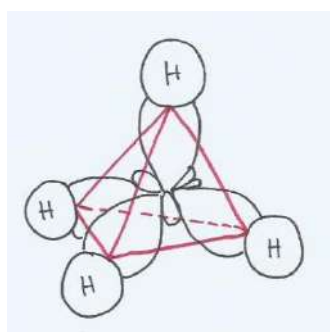


Orbitales del átomo de carbono

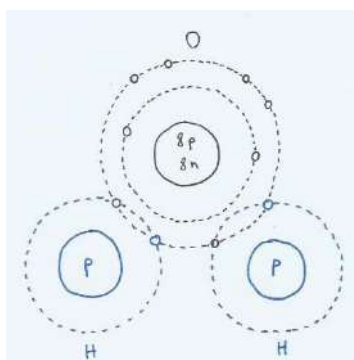
Cuando un átomo de carbono forma enlaces covalentes con otros cuatro átomos, los electrones de su nivel de energía exterior forman nuevos orbitales. Estos nuevos orbitales, todos con una misma configuración, se orientan hacia los cuatro vértices de un tetraedro. Así, los cuatro orbitales se encuentran separados tanto como es posible.



Reacción C-H



Representación tridimensional de la molécula de metano



Dibujo esquemático de una molécula de agua ( $H_2O$ ). Cada uno de los dos enlaces covalentes sencillos de esta molécula están formados por un electrón compartido del oxígeno y un electrón compartido del hidrógeno.

Los enlaces iónicos, covalentes y covalentes polares en realidad pueden ser considerados como versiones diferentes del mismo tipo de enlace. Las diferencias dependen de los distintos grados de atracción que los átomos que se combinan ejercen sobre los electrones. En un enlace covalente completamente no polar, los electrones se comparten por igual. Esos enlaces pueden existir sólo entre átomos idénticos:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_2$  y  $N_2$ , por ejemplo. En los enlaces covalentes polares, los electrones se comparten de modo desigual, y en los enlaces iónicos hay una atracción electrostática entre los iones negativa y positivamente cargados, como resultado de que han ganado o perdido previamente electrones.

## Reacciones químicas

Las reacciones químicas se basan en las interacciones que tienen lugar entre átomos y moléculas, donde suceden formación o roturas de enlaces químicos. Como se mencionó anteriormente existen

tres tipos fundamentales de reacciones químicas que se irán conociendo a medida que se avance en el estudio de la fisiología:

- Reacciones de síntesis
- Reacciones de descomposición
- Reacciones de intercambio

El término metabolismo se utiliza para describir todas las reacciones químicas que tienen lugar en las células del organismo. El metabolismo está íntimamente relacionado con la nutrición ya que la totalidad de las reacciones químicas o la actividad metabólica de las células está vinculada con la utilización de los alimentos. Los términos catabolismo y anabolismo se refieren a los dos tipos principales de actividad metabólica.

El catabolismo describe las reacciones químicas de degradación de moléculas grandes que integran los alimentos en unidades químicas de menor tamaño, durante las mismas suele liberarse energía. La liberación de energía es consecuencia de la modificación de los enlaces químicos.

El anabolismo engloba un número de reacciones de síntesis de moléculas grandes y complejas a partir de subunidades menores. Las reacciones anabólicas requieren energía.

## Elementos biológicamente importantes

Los elementos son, por definición, sustancias que no pueden ser desintegradas en otras sustancias por medios químicos ordinarios. De los elementos naturales de la Tierra, sólo seis constituyen aproximadamente el 99% de todos los tejidos vivos. Estos seis elementos son carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre, a los cuales se los conoce con la sigla CHNOPS.

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

¿Por qué estos elementos fueron tan importantes cuando la vida se organizó y evolucionó? Un factor clave es que los átomos de todos estos elementos necesitan ganar electrones para completar sus niveles de energía exteriores, formando generalmente enlaces covalentes. Dado que estos átomos son pequeños, los electrones compartidos en los enlaces se mantienen próximos a los núcleos, produciendo moléculas muy estables. Además, con excepción del hidrógeno, los átomos de todos estos elementos pueden formar enlaces con dos o más átomos, haciendo posible la constitución de moléculas grandes y complejas esenciales para las estructuras y funciones de los sistemas vivos.

## Agua

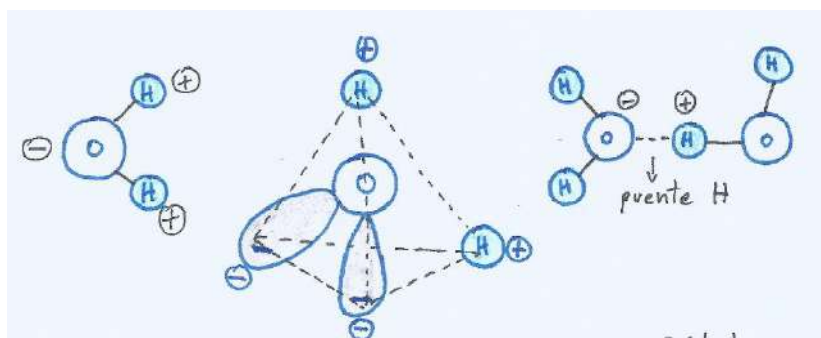
El agua es el líquido más abundante de la superficie terrestre y el componente principal en relación a la masa de todos los seres vivos y tiene un número de propiedades destacables. Estas propiedades son consecuencia de su estructura molecular y son responsables de la "aptitud" del agua para desempeñar su papel en los sistemas vivos. La estructura de la molécula de agua está dada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno que se mantienen unidos por enlaces covalentes. Es una molécula polar que también forma enlaces llamados puentes de hidrógeno con otras moléculas.

Los puentes de hidrógeno determinan muchas de las extraordinarias propiedades del agua. La polaridad de la molécula de agua es responsable de su adhesión a otras sustancias polares. Debido a su polaridad el agua es un buen solvente para iones y moléculas polares. Las moléculas que se disuelven fácilmente en agua se conocen como hidrofílicas y las moléculas no polares que son insolubles en agua se conocen como hidrofóbicas.

## La estructura del agua

La molécula de agua es polar, con dos zonas débilmente negativas y dos zonas débilmente positivas; en consecuencia, entre sus moléculas se forman enlaces débiles, los puentes H.

La molécula de agua ( $H_2O$ ) puede ser representada de varias maneras distintas. El modelo orbital, en el cual desde el núcleo de oxígeno se ramifican cuatro orbitales constituyendo un tetraedro hipotético. Dos de los orbitales están formados por los electrones compartidos que enlazan los átomos de hidrógeno al átomo de oxígeno y los otros dos por los electrones no compartidos. Debido a la fuerte atracción que ejerce el núcleo del oxígeno, debido a su mayor tamaño, hacia los electrones, los electrones que intervienen en los enlaces covalentes pasan más tiempo alrededor del núcleo de oxígeno que el que pasan alrededor de los núcleos de hidrógeno. En consecuencia, se genera una región que se encuentra cerca de cada núcleo de hidrógeno que forman una zona débilmente positiva. Los otros cuatro electrones adicionales en su nivel energético exterior que no están implicados en el enlace covalente con el hidrógeno, están apareados en dos orbitales. Cada uno de estos orbitales es una zona débilmente negativa. Así, la molécula de agua, desde el punto de vista de la polaridad, tiene cuatro vértices, dos vértices' cargados positivamente y otros dos cargados negativamente. Como resultado de estas zonas positivas y negativas, cada molécula de agua puede formar puentes de hidrógeno (representadas por líneas de puntos) con otras cuatro moléculas de agua.



*La estructura de la molécula de agua y la formación de puentes hidrógeno.*

En condiciones normales de presión y temperatura, los puentes de hidrógeno se rompen y vuelven a formarse continuamente, siguiendo un patrón variable. Por esa causa, el agua es un líquido, a diferencia de otras moléculas de tamaño similar o superior que son gases en las mismas condiciones de presión y temperatura, como por ejemplo el  $O_2$  o el  $CO_2$ .

## El agua como solvente

Dentro de los sistemas vivos, muchas sustancias se encuentran en solución acuosa. Una solución es una mezcla uniforme de moléculas de dos o más sustancias. La sustancia presente en mayor cantidad, que es habitualmente líquida, se llama solvente, y las sustancias presentes en cantidades menores se llaman solutos. La polaridad de las moléculas de agua es la responsable de la capacidad solvente del agua. Las moléculas polares de agua tienden a separar sustancias iónicas, como el cloruro de sodio ( $NaCl$ ), en sus iones constituyentes. Las moléculas de agua se aglomeran alrededor de los iones con carga y los separan unos de otros.



Muchas de las moléculas importantes en los sistemas vivos que presentan uniones covalentes, como los azúcares, tienen regiones de carga parcial positiva o negativa, es decir que son polares. Estas moléculas, por lo tanto, atraen moléculas de agua y también se disuelven en agua por lo tanto son llamadas hidrofílicas. Se disuelven fácilmente en agua porque sus regiones parcialmente cargadas atraen moléculas de agua tanto o más que lo que se atraen entre sí. Las moléculas polares de agua compiten de este modo con la atracción existente entre las moléculas de soluto.

Moléculas tales como las grasas, que carecen de regiones polares, tienden a ser muy insolubles en agua. Los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua actúan como una fuerza que excluye a las moléculas no polares. Como resultado de esta exclusión, las moléculas no polares tienden a agruparse en el agua, al igual que las gotitas de grasa tienden a juntarse, por eso el agua y el aceite no se mezclan. Dichas moléculas son llamadas hidrofóbicas y los agrupamientos se producen por interacciones hidrofóbicas.

## Ionización del agua: ácidos y bases

El agua tiene una ligera tendencia a ionizarse, o sea, a separarse en iones  $H^+$  (en realidad iones hidronio  $H_3O^+$ ) y en iones  $OH^-$ . En el agua pura, el número de iones  $H^+$  y el número de iones  $OH^-$  es igual a  $10^{-7}$  mol por litro. Una solución que contiene más iones  $H^+$  que iones  $OH^-$  es ácida; una solución que contiene más iones  $OH^-$  que iones  $H^+$  es básica o alcalina. La escala de pH refleja la proporción de iones  $H^+$  a iones  $OH^-$ . Una solución ácida tiene un pH inferior a 7; una solución básica tiene un pH superior a 7.

Cuando el agua se ioniza, un núcleo de hidrógeno (o sea, un protón) se desplaza del átomo de oxígeno al cual se encuentra unido covalentemente, al átomo de oxígeno con el que establece un puente de hidrógeno. Los iones resultantes son el ion hidróxido cargado negativamente y el ion hidronio cargado positivamente. En este diagrama, las esferas grandes representan al oxígeno y las pequeñas al hidrógeno.



*Ionización del agua*

En el agua pura, el número de iones  $H^+$  iguala exactamente al número de iones  $OH^-$  ya que ningún ion puede formarse sin el otro cuando solamente hay moléculas de  $H_2O$  presentes. Sin embargo, cuando una sustancia iónica o una sustancia con moléculas polares se disuelve en el agua, pueden cambiar los números relativos de los iones  $H^+$  y  $OH^-$ .

Por ejemplo, cuando el ácido clorhídrico (HCl) se disuelve en agua, se ioniza casi completamente en iones  $H^+$  y  $Cl^-$ ; como resultado de esto, una solución de HCl (ácido clorhídrico) contiene más iones  $H^+$  que  $OH^-$ . De modo inverso, cuando el hidróxido de sodio (NaOH) se disuelve en agua, forma iones  $Na^+$  y  $OH^-$ ; así, en una solución de hidróxido de sodio en agua hay más iones  $OH^-$  que  $H^+$ . Estos compuestos que se ionizan completamente se denominan ácidos y bases fuertes.

Los ácidos y bases débiles, por contraste, son aquellos que se ionizan sólo ligeramente, dando como resultado incrementos relativamente pequeños en la concentración de iones  $H^+$  u  $OH^-$ .

Dada la fuerte tendencia de los iones  $H^+$  y  $OH^-$  a combinarse y la débil tendencia del agua a ionizarse, la concentración de los iones  $OH^-$  disminuirá siempre a medida que la concentración de los iones  $H^+$  se incremente (como, por ejemplo, cuando se añade HCl al agua), y viceversa.

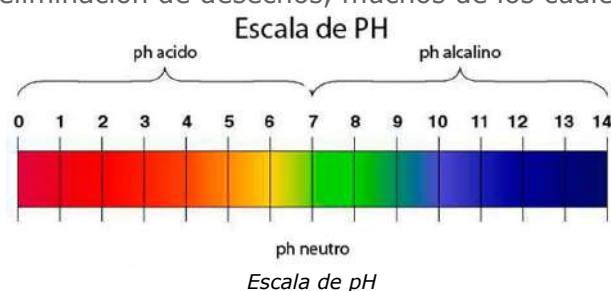
Muchos de los ácidos importantes en los sistemas vivos deben sus propiedades ácidas a un grupo de átomos llamado grupo carboxilo, que incluye un átomo de carbono, dos átomos de oxígeno y un átomo de hidrógeno (simbolizado como  $-COOH$ ). Cuando se disuelve en agua una sustancia que contiene un grupo carboxilo, algunos de los grupos  $-COOH$  se disocian y producen iones hidrógeno. Así, los compuestos que contienen grupos carboxilo son dadores de iones hidrógeno, o ácidos. Son ácidos débiles, porque el grupo  $-COOH$  se ioniza sólo levemente.

Entre las bases más importantes de los sistemas vivos se encuentran los compuestos que contienen al grupo amino (-NH<sub>2</sub>). Este grupo tiene una tendencia débil a aceptar iones hidrógeno, formando por lo tanto el grupo -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>. En tanto los iones hidrógeno son eliminados de la solución por el grupo amino, la concentración relativa de los iones H<sup>+</sup> disminuye y la concentración relativa de los iones OH<sup>-</sup> aumenta. Grupos, tales como el -NH<sub>2</sub>, que son aceptores débiles de iones hidrógeno son bases débiles.

El grado de acidez o alcalinidad se expresa por medio de la escala de pH. El símbolo "pH" indica el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en unidades de moles por litro.

La ionización que ocurre en un litro de agua pura da como resultado la formación, en el equilibrio, de 10<sup>-7</sup> mol de iones hidrógeno y exactamente la misma cantidad de iones hidróxido. El logaritmo de esta concentración es el exponente -7 y el logaritmo negativo es 7; expresándolo simplemente como pH 7. A pH 7 las concentraciones de H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> libres son exactamente iguales dado que están en agua pura. Este es un estado neutro. Cualquier pH por debajo de 7 es ácido y cualquier pH por encima de 7 es básico. Cuanto menor sea el valor del pH, mayor será la concentración de iones hidrógeno. Dado que la escala de pH es logarítmica, una diferencia en una unidad de pH implica una diferencia de 10 veces en la concentración de iones hidrógeno. Por ejemplo, una solución de pH=3 tiene 1.000 veces más iones H<sup>+</sup> que una solución de pH=6. Una diferencia de una unidad de pH refleja una diferencia de 10 veces en la concentración de iones H<sup>+</sup>.

Casi todas las reacciones químicas de los sistemas vivos tienen lugar en un estrecho intervalo de pH alrededor de la neutralidad. Como excepciones notables podemos mencionar los procesos químicos en el estómago de los humanos y otros animales, que tienen lugar a pH de aproximadamente 2. La sangre humana, por ejemplo, mantiene un pH casi constante de 7,4, a pesar del hecho de que es el vehículo de gran número y variedad de nutrientes y otros compuestos químicos que reparte entre las células, así como de la eliminación de desechos, muchos de los cuales son ácidos y bases.



El mantenimiento de un pH constante es un ejemplo de homeostasis y es importante porque el pH influye en gran medida en la velocidad de las reacciones químicas. Los organismos resisten cambios fuertes y repentinos en el pH de la sangre y otros fluidos corporales por medio de amortiguadores o buffers, que son combinaciones de formas dadoras de H<sup>+</sup> yceptoras de H<sup>+</sup> de ácidos o bases débiles con sus sales conjugadas. Los buffers mantienen el pH constante por su tendencia a combinarse con iones H<sup>+</sup>, eliminándolos así de la solución cuando la concentración de iones H<sup>+</sup> comienza a elevarse y liberándolos cuando desciende. Los sistemas vivos contienen una gran variedad de buffers, siendo cada uno de ellos más efectivo al pH particular en el que las concentraciones del dador y del receptor de H<sup>+</sup> son iguales.

Para tener en cuenta para la resolución de problemas relacionados a pH se muestran diferentes expresiones matemáticas útiles.

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

$$\log([\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]) = \log 10^{-14}$$

$$\log[\text{H}_3\text{O}^+] + \log[\text{OH}^-] = -14$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

## Moléculas inorgánicas

Los componentes inorgánicos de las células comprenden el agua y los electrolitos. Los electrolitos son moléculas que se disocian en solución acuosa originando partículas cargadas, denominadas iones. Los iones con carga positiva se denominan cationes y los que tienen carga negativa son los aniones. Los iones tienen gran importancia en el mantenimiento de la presión osmótica dentro de la célula. Las concentraciones iónicas son diferentes dentro y fuera de las células, el líquido intracelular posee mayor concentración de los iones  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ , fosfatos. En el líquido extracelular aparecen en mayor concentración el  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Cl^-$ . Ciertos iones inorgánicos son cofactores enzimáticos, como por ejemplo el  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ .

## Moléculas orgánicas

Los organismos están compuestos por cuatro tipos diferentes de moléculas orgánicas: carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

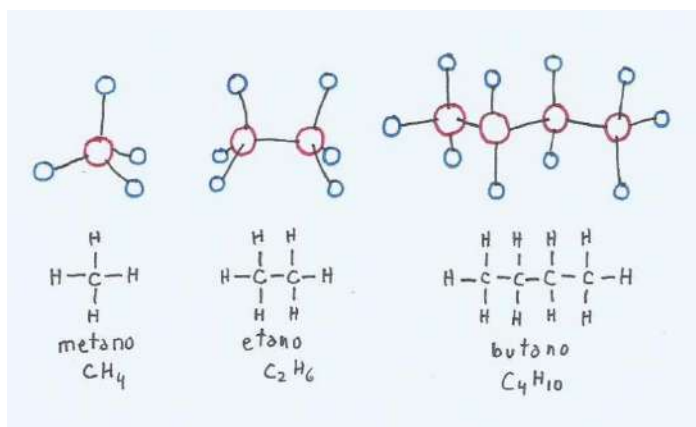
Todas estas moléculas contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Además, las proteínas contienen nitrógeno y azufre, y los nucleótidos, así como algunos lípidos, contienen nitrógeno y fósforo.

En esencia, la química de los organismos vivos es la química de los compuestos que contienen carbono, es decir, los compuestos orgánicos. El término orgánico se utiliza para describir a un gran número de compuestos que contienen carbono, más precisamente enlaces C-C o C-H. Algunos compuestos que contienen carbono son compuestos inorgánicos, como por ejemplo el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) o el ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ) porque no poseen enlaces C-C o C-H. El carbono es singularmente adecuado para formar este tipo de estructuras, por el hecho de que es el átomo más liviano capaz de formar múltiples enlaces covalentes. A raíz de esta capacidad, el carbono puede combinarse con otros átomos de carbono y con átomos distintos para formar una gran variedad de cadenas fuertes y estables, como así también compuestos con forma de anillo. Las moléculas orgánicas derivan sus configuraciones tridimensionales primordialmente de sus esqueletos de carbono. Sin embargo, muchas de sus propiedades específicas dependen de grupos funcionales. Una característica general de todos los compuestos orgánicos es que liberan energía cuando se oxidan.

## El carbono como principal componente de moléculas orgánicas

Un átomo de carbono puede formar cuatro enlaces covalentes con cuatro átomos diferentes como máximo y es de gran importancia que sus átomos pueden formar enlaces entre sí formando cadenas largas. En general, una molécula orgánica deriva su configuración final de la disposición de sus átomos de carbono, que constituyen el esqueleto o columna de la molécula. La configuración de la molécula, también determina muchas de sus propiedades y funciones dentro de los sistemas vivos.

En los siguientes modelos, los círculos más grandes representan a los átomos de carbono y los círculos más chicos, representan a los átomos de hidrógeno. Las líneas en las fórmulas estructurales representan enlaces covalentes, cada uno de los cuales está formado por un par de electrones. Como se puede ver cada átomo de carbono forma cuatro enlaces covalentes.



Modelos tridimensionales y fórmulas estructurales del metano, etano y butano.

Las propiedades químicas específicas de una molécula orgánica derivan principalmente de los grupos de átomos conocidos como grupos funcionales. Estos grupos están unidos al esqueleto de carbono, reemplazando a uno o más de los hidrógenos que estarían presentes en un hidrocarburo.

Grupos funcionales			
Nombre	estructura	ejemplo	
alcano	$\begin{array}{c}   \\ -\text{C}- \\   \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	propano
alqueno	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$	propeno
alquino	$-\text{C}\equiv\text{C}-$	$\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	propino
Alcohol	$\text{R}-\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	propanol
éter	$\text{R}-\text{O}-\text{R}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	dietiléter
aldehído	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	propanal
cetona	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{R} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	propanona
ácido	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	ácido etanoico o acético
éster	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{O}-\text{C}-\text{R} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}$	etanoato de metilo
amina	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{NH}_2 \\ \text{R}-\text{NH}-\text{R} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	propilamina
amida	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{R}-\text{N}-\text{C}-\text{R} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-\text{CH}_3$	metil etil amida

Los enlaces covalentes -que se encuentran comúnmente en las moléculas orgánicas- son enlaces fuertes y estables, sus características que dependen de las configuraciones de los orbitales. Las fuerzas de enlace se expresan convencionalmente en función de la energía, en kilocalorías por mol, que es la energía que debe suministrarse para romper el enlace en condiciones estándar de temperatura y presión.

Cuando se rompe un enlace covalente, se liberan los átomos que conforman las moléculas (o en algunos casos los grupos de átomos). Cada átomo habitualmente lleva consigo sus propios electrones, lo que da como resultado átomos cuyos niveles de energía exteriores están sólo parcialmente llenos con electrones. Así, los átomos tienden a formar nuevos enlaces covalentes muy rápidamente, restableciendo la condición estable caracterizada por estar completos los niveles de energía exteriores. Los nuevos enlaces que se forman pueden ser idénticos a los que se habían roto

o diferentes, esto va a depender de factores como la temperatura, la presión y, lo más importante, de cuáles otros átomos están disponibles. Las reacciones químicas en las cuales se forman combinaciones nuevas siempre implican un cambio en las configuraciones de los electrones y, por lo tanto, en las fuerzas de enlace. Dependiendo de las fuerzas relativas de los enlaces rotos y de los formados en el curso de una reacción química, el sistema o bien liberará energía o la obtendrá del medio circundante.

De modo similar ocurren cambios de energía en las reacciones químicas que tienen lugar en los organismos. Sin embargo, los sistemas vivos han desarrollado "estrategias" para minimizar no sólo la energía requerida para iniciar una reacción, sino también la proporción de energía liberada como calor. Estas estrategias implican, entre otros factores, moléculas proteínicas especializadas, conocidas como enzimas, que son participantes esenciales de las reacciones químicas de los sistemas vivos.

## Hidratos de carbono

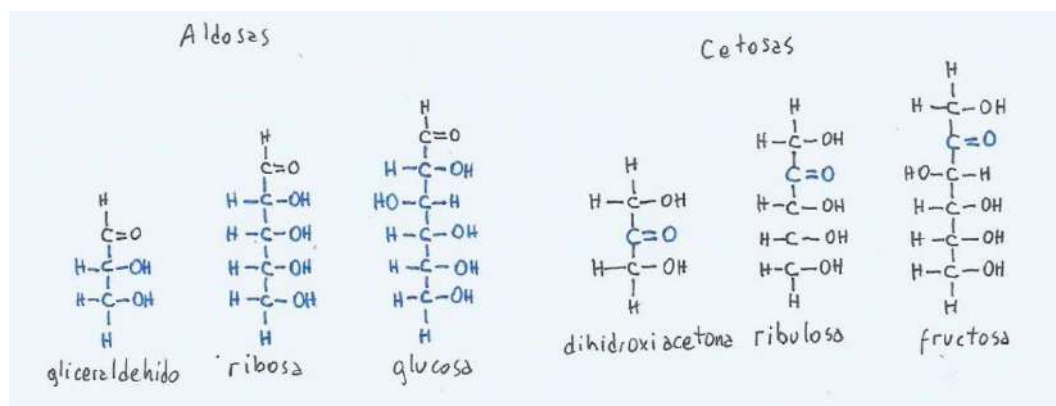
Los hidratos de carbono o carbohidratos son moléculas cuya función es proporcionar y almacenar energía en los seres vivos, pero también constituyen componentes estructurales en las células. Todos los hidratos de carbono contienen los elementos C, H, O, por lo general en una relación 1,2,1. Los átomos de carbono se unen entre sí para formar cadenas o anillos. Los hidratos de carbono engloban las sustancias conocidas como azúcares o almidones. De acuerdo a su estructura química los carbohidratos son polihidroxi aldehídos o polihidroxi cetonas.

Los más simples son los monosacáridos, que se clasifican de acuerdo al número de átomos de C que tienen en su cadena, denominándose triosas, tetrosas, pentosas, hexosas o heptosas. Ejemplos de monosacáridos son: ribosa, glucosa y fructosa. Los monosacáridos pueden combinarse para formar disacáridos y polisacáridos (cadenas de muchos monosacáridos).

Los disacáridos consisten en dos moléculas de azúcar simples unidas covalentemente. Ejemplos son la sacarosa (azúcar de caña), la maltosa (azúcar de malta) y la lactosa (azúcar de la leche).

Los polisacáridos, contienen muchas moléculas de azúcar simples unidas entre sí que pueden ser polímeros lineales o ramificados. Son ejemplos de ellos el almidón, dextrinas, celulosa y glucógeno. El glucógeno representa el principal polisacárido en el organismo humano y sirve como reserva de glucosa.

En general, las moléculas grandes, como los polisacáridos, que están constituidas de unidades idénticas o similares, se conocen como polímeros ("muchas partes") y las unidades son llamadas monómeros ("una sola parte").



*Dos modos diferentes de clasificar a los monosacáridos según el número de átomos de carbono y según los grupos funcionales. El gliceraldehído, la ribosa y la glucosa contienen, además de los grupos hidroxilo, un grupo aldehído, que se indica en negro; se llaman azúcares de aldosa o aldosas. La dihidroxiacetona, la ribulosa y la fructosa contienen un grupo cetona, indicado en azul, y se llaman azúcares de cetosa o cetosas.*

La glucosa es el carbohidrato más importante desde el punto de vista biomédico, es la principal forma en que se absorben los hidratos de carbono de la alimentación y es precursor para la síntesis de glucógeno para almacenamiento, ribosa y desoxirribosa para los ácidos nucleicos, galactosa para la lactosa de la leche y se combina con proteínas para formar glucoproteínas y proteoglicanos.

## Los lípidos

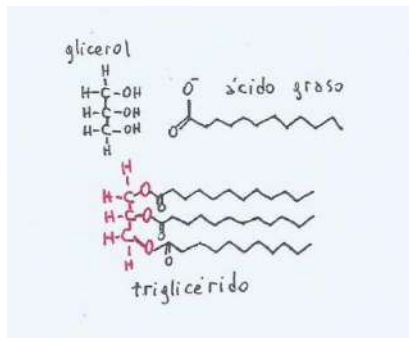
Los lípidos son moléculas hidrofóbicas o insolubles en agua que, como los carbohidratos, almacenan energía y son importantes componentes estructurales. Los lípidos son un grupo de compuestos heterogéneo, que incluye grasas, aceites, esteroides, ceras y compuestos relacionados más por sus propiedades físicas que por sus propiedades químicas. Tienen la propiedad común de ser insolubles en agua y solubles en solventes no polares o solventes orgánicos, como éter, benceno y cloroformo. Son importantes constituyentes de la dieta no sólo debido a su alto valor energético, sino también debido a las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales contenidos entre sus componentes. Típicamente, son moléculas de almacenamiento de energía, usualmente en forma de grasa o aceite, y cumplen funciones estructurales, como en el caso de los fosfolípidos, glucolípidos y ceras. La grasa se almacena en el tejido adiposo, donde también sirve como un aislante térmico y mecánico de los tejidos subcutáneos y alrededor de ciertos órganos. Los lípidos no polares actúan como aislantes eléctricos, lo que permite la propagación rápida de las ondas de despolarización a lo largo de nervios mielinizados. Las combinaciones de lípido y proteína (lipoproteínas) sirven como el medio para transportar lípidos en la sangre. Algunos lípidos desempeñan funciones importantes como "mensajeros" químicos, tanto dentro de las células o entre ellas. A diferencia de muchas plantas, como la de la papa, los animales sólo tienen una capacidad limitada para almacenar carbohidratos. En los vertebrados, cuando los azúcares que se ingieren sobrepasan las posibilidades de utilización o de transformación en glucógeno, se convierten en grasas. De modo inverso, cuando los requisitos energéticos del cuerpo no son satisfechos por la ingestión inmediata de comida, el glucógeno y posteriormente la grasa son degradados para llenar estos requerimientos. El hecho de que el cuerpo consuma o no sus propias moléculas de almacenamiento no guarda ninguna relación con la forma molecular en que la energía ingresa en él. La cuestión estriba simplemente en la cantidad de calorías que se libera cuando se degradan estas moléculas.

Los Lípidos se clasifican en simples o complejos.

Los lípidos simples son ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes. Pueden ser:

- Grasas: ésteres de ácidos grasos con glicerol. Forman los triglicéridos o triacilgliceroles, esto significa que un glicerol se esterifica con tres ácidos grasos.

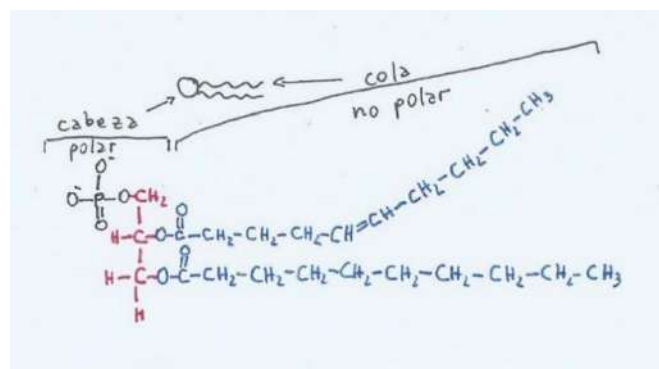
Una molécula de grasa está formada por tres ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol (de aquí el término "triglicérido"). Las largas cadenas hidrocarbonadas que componen los ácidos grasos terminan en grupos carboxilo (-COOH) y se unen covalentemente a la molécula de glicerol. Los ácidos grasos naturales poseen número par de átomos de carbono, habitualmente entre 12 y 18. Las propiedades físicas de una grasa, como por ejemplo su punto de fusión, están determinadas por las longitudes de sus cadenas de ácidos grasos y dependen también de si las cadenas son saturadas o no saturadas. Los ácidos grasos pueden estar saturados, es decir, no presentar enlaces dobles entre átomos de C continuos. También pueden estar insaturados, es decir, tener átomos de carbono unidos por enlaces dobles o triples. Las cadenas rectas de los ácidos grasos saturados permiten el empaquetamiento de las moléculas, produciendo un sólido como la manteca o el cebo. En los ácidos grasos insaturados, los dobles enlaces provocan que las cadenas se doblen; esto tiende a separar las moléculas, produciendo un líquido, generalmente los aceites tienen ácidos grasos insaturados y las grasas saturados.



- Ceras: ésteres de ácidos grasos con alcoholes monohídricos de peso molecular relativamente alto.
- Lípidos complejos: son ésteres de ácidos grasos que contienen otros grupos además de un alcohol y un ácido graso.
- Fosfolípidos: lípidos que contienen, además de ácidos grasos y un alcohol, un grupo ácido fosfórico. A menudo poseen bases que contienen nitrógeno y otros sustituyentes, por ejemplo, en los glicerofosfolípidos el alcohol es glicerol, y en los esfingofosfolípidos el alcohol es la esfingosina.
- Glucolípidos (glucoesfingolípidos): lípidos que contienen un ácido graso, esfingosina y carbohidrato.
- Otros lípidos complejos: lípidos como sulfolípidos y aminolípidos.

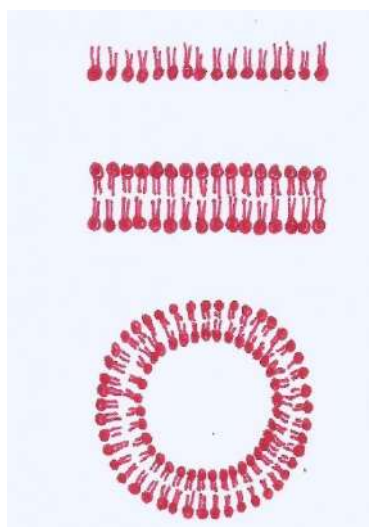
Las lipoproteínas también pueden colocarse en esta categoría de lípidos complejos.

Los lípidos, especialmente los fosfolípidos y los glucolípidos, también desempeñan papeles estructurales extremadamente importantes. Al igual que las grasas, tanto los fosfolípidos como los glucolípidos están compuestos de cadenas de ácidos grasos unidas a un esqueleto de glicerol. En los fosfolípidos, el tercer carbono de la molécula de glicerol no está ocupado por un ácido graso, sino por un grupo fosfato, al que está unido habitualmente otro grupo polar.



Molécula de fosfolípido.

La molécula de fosfolípido está formada por dos ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol, como en las grasas, y por un grupo fosfato (indicado en negro) unido al tercer carbono del glicerol. Las "colas" de ácido graso son no polares y, por lo tanto, hidrofóbicas; la "cabeza" polar que contiene al grupo fosfato está cargada negativamente y es hidrofílica.



Ordenamiento de los fosfolípidos en relación con el agua.



*Dado que los fosfolípidos tienen cabezas solubles en agua y colas insolubles en ella, tienden a formar una película delgada en una superficie acuosa, con sus colas extendidas por encima del agua.*

*Rodeados de agua, se distribuyen espontáneamente en dos capas, con sus cabezas hidrofílicas hacia afuera y sus colas hidrofóbicas hacia adentro.*

*Al formar una bicapa, los componentes hidrofóbicos de los fosfolípidos quedan "protegidos" del agua, excepto en los bordes, en donde quedan expuestos. Esta ordenación da una cierta inestabilidad a esa membrana, haciendo que ésta se pliegue sobre sí misma y forme vesículas. Esta disposición de las moléculas de fosfolípido, con sus cabezas hidrofílicas expuestas y sus colas hidrofóbicas agrupadas, forman la base estructural de las membranas celulares.*

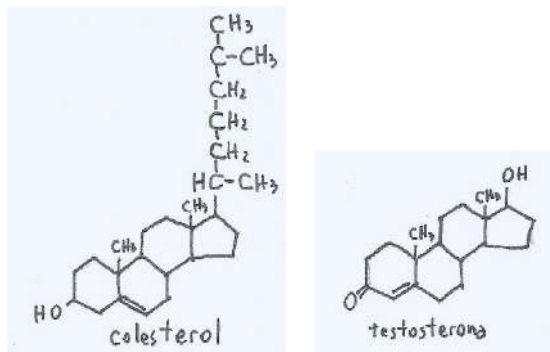
En los glucolípidos ("lípidos con azúcar"), el tercer carbono de la molécula de glicerol no está ocupado por un grupo fosfato, sino por una cadena de carbohidrato corta. Dependiendo del glucolípidos particular, esta cadena puede contener entre uno y quince monómeros de monosacárido. Al igual que la cabeza de fosfato de un fosfolípido, la cabeza de carbohidrato de un glucolípidos es hidrofílica, y las colas de ácidos grasos son hidrofóbicas. En solución acuosa, los glucolípidos se comportan del mismo modo que los fosfolípidos. También son componentes importantes de las membranas celulares en las que cumplen funciones de reconocimiento celular.

Las grasas y los aceites contienen una mayor proporción de enlaces carbono-hidrógeno ricos en energía que los carbohidratos y, en consecuencia, contienen más energía química. También, dado que las grasas son no polares, no atraen moléculas de agua y, por eso, no están "embebidas" en éstas, como ocurre en el caso de glucógeno. Teniendo en cuenta el factor hídrico, las grasas almacenan seis veces más energía gramo por gramo que el glucógeno, y éste es indudablemente el motivo por el cual, en el curso de la evolución, llegaron a desempeñar un papel fundamental en el almacenamiento de energía.

Grandes masas de tejido graso rodean a algunos órganos como, por ejemplo, a los riñones de los mamíferos, y sirven para protegerlos de una conmoción física. Por razones que no se comprenden, estos depósitos de grasa permanecen intactos, aun en épocas de inanición. Otra característica de los mamíferos es una capa de grasa que se encuentra debajo de la piel y que sirve como aislante térmico. Esta capa está particularmente bien desarrollada en los mamíferos marinos.

Las ceras también son una forma de lípido. Son producidas, por ejemplo, por las abejas para construir sus panales. También forman cubiertas protectoras, lubricantes e impermeabilizantes sobre la piel, el pelaje y las plumas y sobre los exoesqueletos de algunos animales. En las plantas terrestres se encuentran sobre las hojas y frutos. Las ceras protegen las superficies de la pérdida de agua y aíslan del frío a los tejidos internos.

El colesterol pertenece a un grupo importante de compuestos conocidos como esteroides. Aunque los esteroides no se asemejan estructuralmente a los otros lípidos, se los agrupa con ellos porque son insolubles en agua. Al igual que el colesterol, todos los esteroides tienen cuatro anillos de carbono unidos y varios de ellos tienen una cola. Además, muchos poseen el grupo funcional -OH, que los identifica como alcoholes. El colesterol se encuentra en las membranas celulares (excepto en las células bacterianas); aproximadamente el 25% (en peso seco) de la membrana de un glóbulo rojo es colesterol. Su presencia da rigidez a las membranas y evita su congelamiento a muy bajas temperaturas. También es un componente principal de la vaina de mielina, la membrana lipídica que envuelve a las fibras nerviosas de conducción rápida, acelerando el impulso nervioso. El colesterol es sintetizado en el hígado y también se obtiene de la dieta, principalmente en la carne, el queso y las yemas de huevo. Las altas concentraciones de colesterol en la sangre están asociadas con la aterosclerosis, enfermedad en la cual el colesterol se encuentra en depósitos grasos en el interior de los vasos sanguíneos afectados.



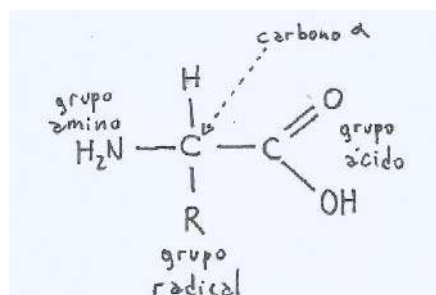
Dos ejemplos de esteroides. La molécula de colesterol está formada por cuatro anillos de carbono y una cadena hidrocarbonada. La testosterona, hormona sexual masculina, sintetizada a partir del colesterol por células de los testículos, también tiene la estructura característica de cuatro anillos, pero carece de la cola hidrocarbonada.

Las hormonas sexuales y las hormonas de la corteza suprarrenal también son esteroides. Estas hormonas se forman a partir del colesterol en los ovarios, testículos, corteza suprarrenal y otras glándulas que las producen.

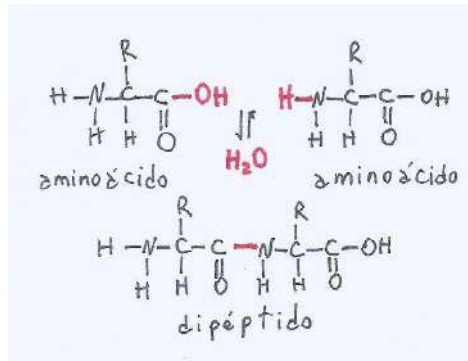
## Aminoácidos y proteínas

Las proteínas son moléculas muy grandes compuestas de cadenas largas de aminoácidos, conocidas como cadenas polipeptídicas y tienen múltiples funciones. A partir de sólo veinte aminoácidos diferentes se puede sintetizar una inmensa variedad de diferentes tipos de moléculas proteínicas, cada una de las cuales cumple una función altamente específica en los sistemas vivos, como enzimas, hormonas, proteínas de almacenamiento, proteínas de transporte como la hemoglobina, proteínas contráctiles como la de los músculos, inmunoglobulinas (anticuerpos), proteínas de membrana y estructurales.

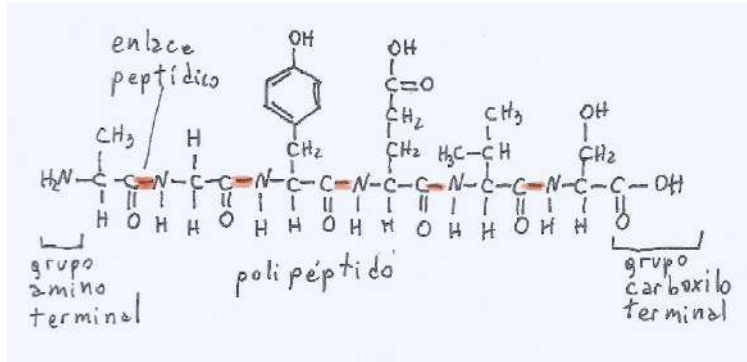
Los veinte aminoácidos diferentes que forman parte de las proteínas varían de acuerdo con las propiedades de sus grupos laterales (R). Cada aminoácido contiene un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y un grupo ácido (-COOH) unidos a un átomo de carbono central llamado carbono alfa. Un átomo de hidrógeno y el grupo lateral están también unidos al mismo átomo de carbono. Esta estructura básica es idéntica en todos los aminoácidos.



Los aminoácidos se unen entre sí por medio de enlaces peptídicos que se forman por reacciones de condensación.

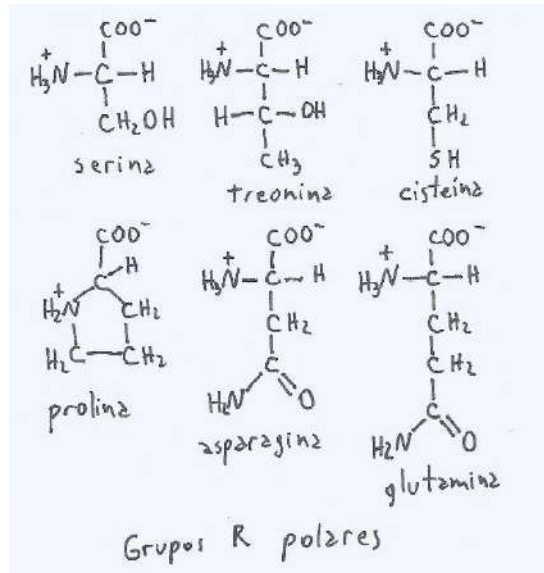
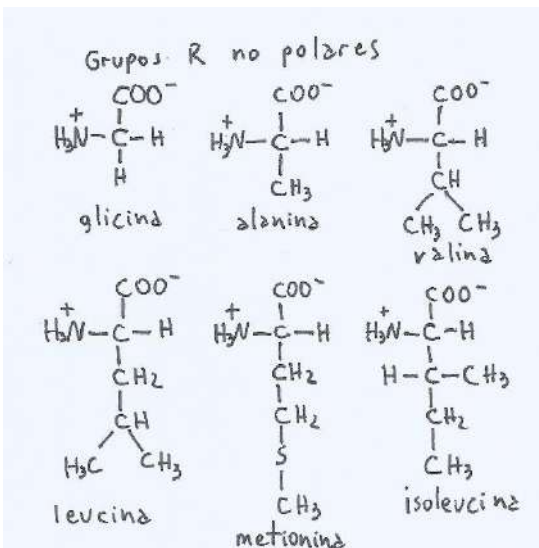


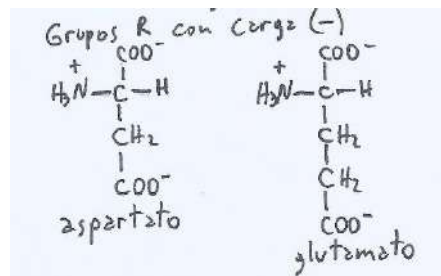
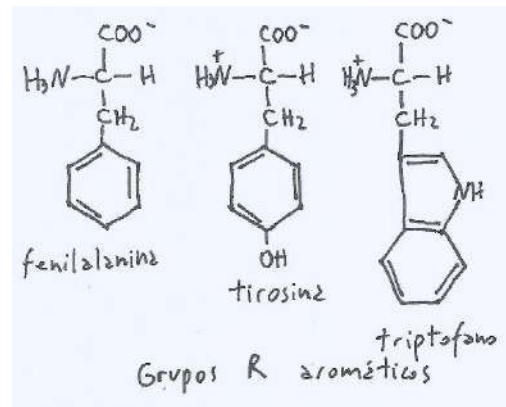
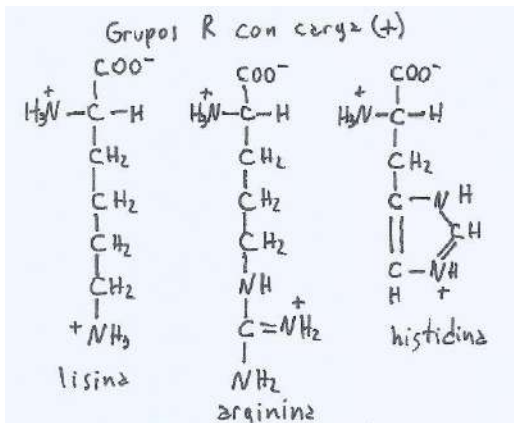
Un enlace peptídico es un enlace covalente formado por condensación



Los polipéptidos son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, en los que el grupo amino de un ácido se une al grupo carboxilo del siguiente aminoácido. La cadena polipeptídica que se muestra contiene solamente seis aminoácidos, pero algunas cadenas pueden contener hasta 1.000 aminoácidos

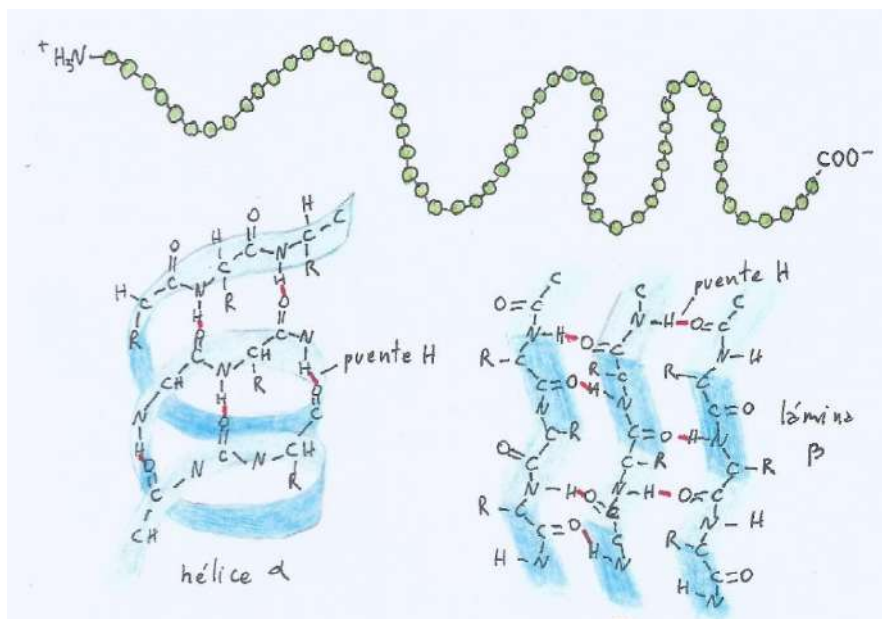
Los grupos radicales pueden ser no polares (sin diferencia de carga entre distintas zonas del grupo), polares, pero con cargas balanceadas de modo tal que el grupo lateral en conjunto es neutro, o cargados, negativa o positivamente. Los grupos radicales no polares no son solubles en agua, mientras que los grupos radicales polares y cargados son solubles en agua.



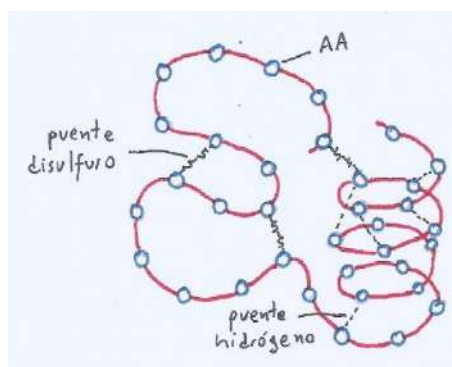


Las proteínas son macromoléculas complejas desde los puntos de vista físico y funcional, que desempeñan múltiples funciones de importancia biológica. Por ejemplo, una red de proteína interna, el citoesqueleto, mantiene la forma y la integridad física celulares, filamentos de actina y miosina forman la maquinaria contráctil del músculo, la hemoglobina transporta oxígeno, mientras que los anticuerpos circulantes defienden contra agentes extraños, las enzimas catalizan reacciones que generan energía, sintetizan biomoléculas y las degradan, replican genes y los transcriben, procesan ARNm, entre otras funciones, los receptores permiten a las células detectar hormonas y otros indicios ambientales, así como mostrar respuesta a los mismos. Las proteínas están sujetas a cambios físicos y funcionales que reflejan el ciclo de vida de los organismos en los cuales residen. Una proteína típica nace en el momento de la traducción, madura a través de eventos de procesamiento postraduccional, como proteólisis selectiva, alterna entre estados de trabajo y de reposo por medio de la intervención de factores reguladores, envejece por oxidación, desamidación, etc., y muere cuando se degrada hacia los aminoácidos que la componen. Un objetivo importante de la medicina molecular es la identificación de biomarcadores como proteínas y la modificación de proteínas cuya presencia, ausencia o deficiencia se relaciona con estados fisiológicos o enfermedades específicos.

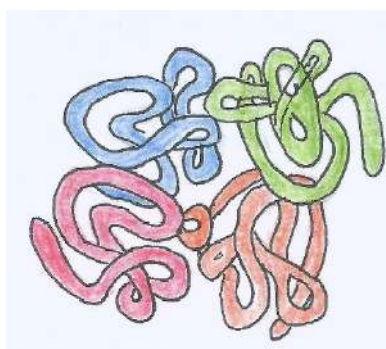
En cuanto a la estructura de las proteínas podemos describir diferentes configuraciones. La secuencia de aminoácidos se conoce como estructura primaria de la proteína y de acuerdo con esa secuencia, la molécula puede adoptar una entre varias formas posibles. Los puentes de hidrógeno entre los grupos C=O y N-H tienden a plegar la cadena en una estructura secundaria repetida, tal como la hélice alfa o la hoja plegada beta. Las interacciones entre los grupos R de los aminoácidos pueden dar como resultado un plegamiento ulterior en una estructura terciaria, que a menudo es de forma globular e intrincada. Dos o más polipéptidos pueden actuar recíprocamente para formar una estructura cuaternaria. En las proteínas fibrosas, las moléculas largas entran en interacción con otras largas cadenas de polipéptidos, similares o idénticas, para formar filamentos o láminas. El colágeno y la queratina son proteínas fibrosas que desempeñan diversos papeles estructurales. Las proteínas globulares también pueden cumplir propósitos estructurales. Los microtúbulos, que son componentes celulares importantes, están compuestos por unidades repetidas de proteínas globulares, asociadas helicoidalmente en un tubo hueco. Otras proteínas globulares tienen funciones de regulación, de transporte y de protección. Dada la variedad de aminoácidos, las proteínas pueden tener un alto grado de especificidad. Un ejemplo es la hemoglobina, la molécula transportadora de oxígeno de la sangre, compuesta de cuatro cadenas polipeptídicas (dos pares de cadenas), cada una unida a un grupo que contiene hierro (hemo). La sustitución de un determinado aminoácido por otro en uno de los pares de cadenas altera la superficie de la molécula, produciendo una enfermedad conocida como anemia falciforme.



Estructuras primaria y secundarias de las proteínas: la estructura primaria es la secuencia de aminoácidos con un extremo amino y el otro ácido. La estructura secundaria puede ser la hélice alfa o la lámina plegada beta. La hélice alfa mantiene su forma por la presencia de los puentes de hidrógeno, indicados por las líneas de rojas. En este caso, los puentes de hidrógeno se forman entre los átomos de oxígeno del grupo carbonilo de un aminoácido y el átomo de hidrógeno del grupo amino de otro aminoácido situado a cuatro aminoácidos de distancia en la cadena. Los grupos R se extienden hacia afuera de la hélice. La lámina plegada beta, en la que los pliegues se forman por la existencia de puentes de hidrógeno entre distintos átomos del esqueleto del polipéptido; los grupos R se extienden por encima y por debajo de los pliegues de la hoja.



Tipos de enlaces que estabilizan la estructura terciaria de una molécula de proteína. Estos mismos tipos de enlace también estabilizan la estructura de las moléculas de proteínas formadas por más de una cadena polipeptídica



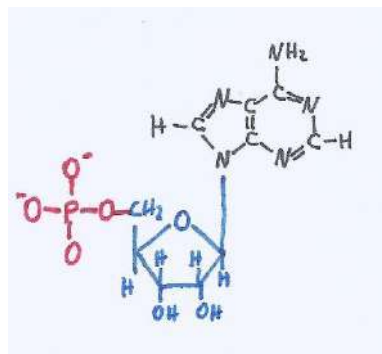
Estructura cuaternaria de una proteína, en este ejemplo está formada por cuatro proteínas de estructura terciaria.

Las proteínas solamente pueden realizar sus funciones si conservan una estructura específica, cuando alguna proteína pierde su conformación se dice que se desnaturaliza y perderá su función. Los factores que inducen a la desnaturalización de las proteínas son variaciones de temperatura, pH, radiación y presencia de algunos compuestos químicos nocivos.

## Nucleótidos y ácidos nucleicos

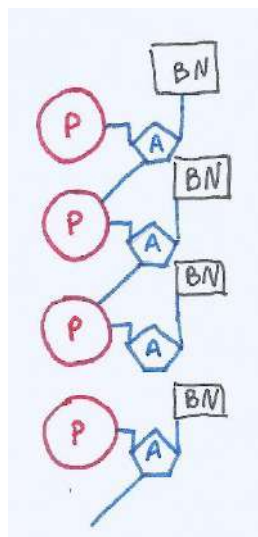
Así como las proteínas están formadas por cadenas largas de aminoácidos, los ácidos nucleicos están formados por cadenas largas de nucleótidos. Un nucleótido está formado por tres subunidades: un grupo fosfato, un azúcar de cinco carbonos y una base nitrogenada; esta última tiene las propiedades de una base débil y contiene nitrógeno. La subunidad de azúcar de un nucleótido puede ser ribosa o desoxirribosa. La diferencia estructural entre estos dos azúcares es mínima. En la ribosa, el carbono 2 lleva un átomo de hidrógeno por encima del plano del anillo y un grupo hidroxilo por debajo del plano; en la desoxirribosa, el grupo hidroxilo del carbono 2 está reemplazado por un átomo de hidrógeno.

Los nucleótidos son los bloques estructurales de los ácidos desoxirribonucleico (ADN) y ribonucleico (ARN), que transmiten y traducen la información genética. Los nucleótidos también desempeñan papeles centrales en los intercambios de energía que acompañan a las reacciones químicas dentro de los sistemas vivos. El principal portador de energía en la mayoría de las reacciones químicas que ocurren dentro de las células es un nucleótido que lleva tres fosfatos, el ATP.



*Un nucleótido está constituido por tres subunidades diferentes: un grupo fosfato en rojo, un azúcar de cinco carbonos en azul y una base nitrogenada en negro.*

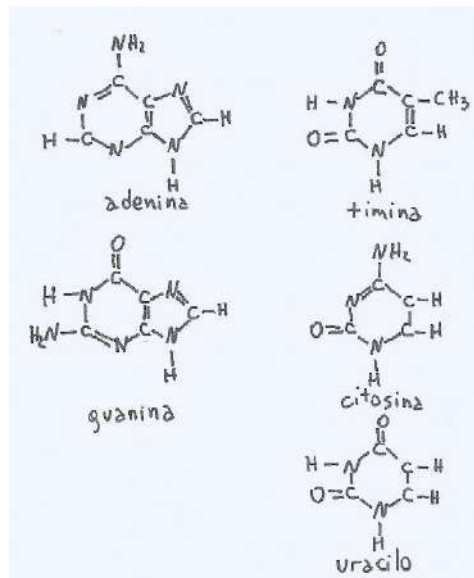
Los ácidos nucleicos contienen la información que codifica las estructuras de la enorme variedad de moléculas de proteínas que se encuentran en los organismos. La información contenida en los ácidos nucleicos es transcrita y luego traducida a las proteínas. Son las proteínas las moléculas que finalmente ejecutarán las "instrucciones" codificadas en los ácidos nucleicos.



*Los nucleótidos pueden unirse en cadenas largas por reacciones de condensación que involucran a los grupos hidroxilo de las subunidades de fosfato y de azúcar. En la figura se muestra una molécula de ARN que está formada por una sola cadena de nucleótidos. La ribosa es el azúcar en los nucleótidos que forman el ácido ribonucleico (ARN).*

Las bases nitrogenadas se dividen en dos grupos, las purinas (adenina y guanina) y pirimidinas (timina, citosina y uracilo), que son heterociclos que contienen nitrógeno además de carbono.



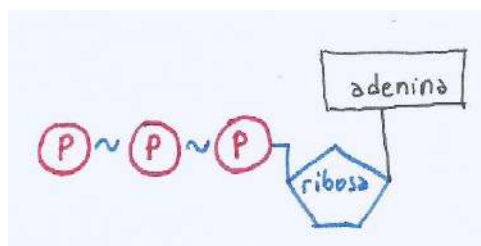


Las cinco bases nitrogenadas de los nucleótidos que constituyen los ácidos nucleicos

La adenina, la guanina y la citosina se encuentran tanto en el ADN como en el ARN, mientras que la timina se encuentra sólo en el ADN y el uracilo sólo en el ARN.

Aunque sus componentes químicos son muy semejantes, el ADN y el ARN desempeñan papeles biológicos muy diferentes. El ADN es el constituyente primario de los cromosomas de las células y es el portador del mensaje genético. La función del ARN es transcribir el mensaje genético presente en el ADN y traducirlo a proteínas. El descubrimiento de la estructura y función de estas moléculas es hasta ahora, indudablemente, el mayor triunfo del enfoque molecular en el estudio de la biología.

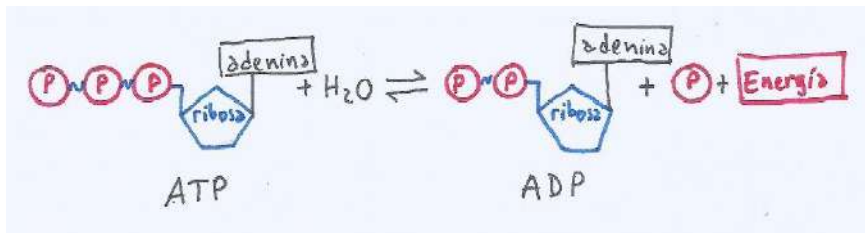
Los nucleótidos, además de su papel en la formación de los ácidos nucleicos, tienen una función independiente y vital para la vida celular. Cuando un nucleótido se modifica por la unión de dos grupos fosfato, se convierte en un transportador de energía, necesario para que se produzcan numerosas reacciones químicas celulares. La energía contenida en los glúcidos de reserva como el almidón y el glucógeno o en los lípidos como los triglicéridos no es de fácil acceso para la célula. Estas moléculas deben ser oxidadas en las mitocondrias previamente y transformadas para que sea accesible para la maquinaria celular. La energía en los nucleótidos modificados, en cambio, está disponible en cantidad conveniente y aceptada en forma generalizada. El principal portador de energía, en casi todos los procesos biológicos, es una molécula llamada adenosín trifosfato o ATP.



Esquema de una molécula de ATP (adenosín trifosfato).

La única diferencia entre el ATP y el AMP (adenosín monofosfato) es la unión de dos grupos fosfato adicionales. Aunque esta diferencia en la fórmula puede parecer pequeña, es la clave del funcionamiento del ATP en los seres vivos. Los enlaces que unen los tres grupos fosfato son relativamente débiles, y pueden romperse con cierta facilidad por hidrólisis. Los productos de la reacción más común son el ADP (adenosín di fosfato) un grupo fosfato y energía. Esta energía al desprenderse, puede ser utilizada para producir otras reacciones químicas.

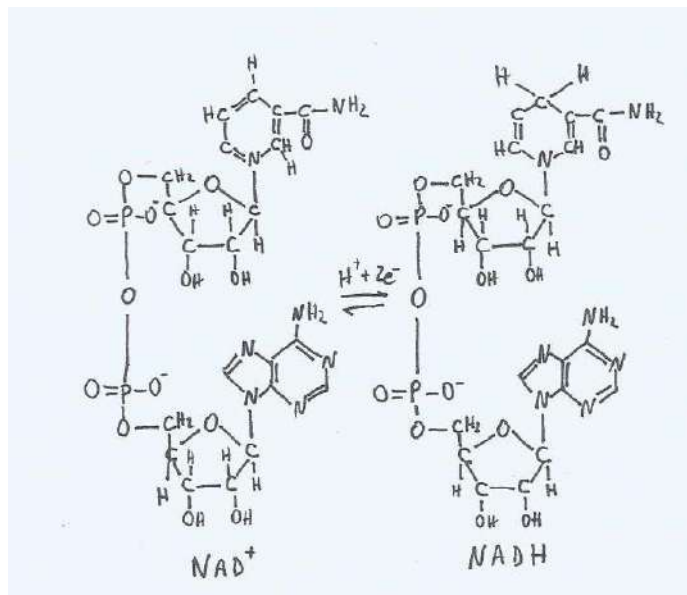




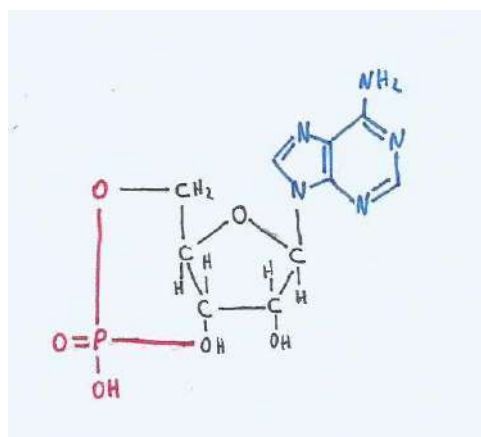
La hidrólisis del ATP.

Con la adición de una molécula de agua al ATP, un grupo fosfato se separa de la molécula. Los productos de la reacción son el ADP, un grupo fosfato libre y energía. Alrededor de unas 7 Kcalorías de energía se liberan por cada mol de ATP hidrolizado. La reacción puede ocurrir en sentido contrario si se aportan las 7 Kcalorías por mol necesarias.

Las células disponen también de otros nucleótidos que transportan energía, como el dinucleótido de nicotinamida adenina ( $\text{NAD}^+$ ) y el dinucleótido de flavina adenina (FAD) para transferir energía de una molécula a otra. El  $\text{NAD}^+$  y el FAD actúan como coenzimas para transporte de electrones de una vía metabólica a otra a lo largo de los numerosos y complejos pasos de los que consta la transferencia de energía desde las moléculas de los alimentos al ATP.



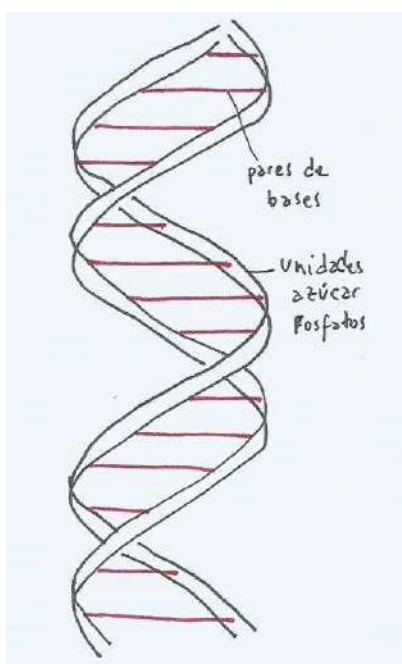
El ATP puede descomponerse para formar una molécula con un grupo fosfato llamada monofosfato de adenosina cíclico (AMPC) que interviene como mensajero intracelular.



Esquema de una molécula de AMPc

## ADN

Hace más de cincuenta años, un estadounidense, James Watson, y tres científicos británicos, Francis Crick, Maurice Wilkins y Rosalind Franklin, ganaron la carrera para resolver el rompecabezas de la estructura molecular del ADN. Desde el descubrimiento original de la estructura de ADN se ha producido el nacimiento de una rama nueva de la biología, denominada genética molecular, que se ocupa de los conocimientos cada vez más amplios sobre el ADN y su función. De hecho, hemos asistido a una revolución en la biología humana, conforme se va viendo que la aplicación continuada de la genética molecular transforma todos los aspectos de la anatomía, la fisiología y la medicina. El ADN forma moléculas muy largas, por lo que tiene un peso molecular muy elevado. La molécula de ADN es una espiral bicatenaria, una doble hélice, como una escalera de caracol. Los lados de la escalera de caracol del ADN son una larga línea de unidades de fosfato y de desoxirribosa, unidas alternativamente, una tras otra. Los escalones de la escalera son la unión de dos bases nitrogenadas, y esta unión se produce en dos combinaciones posibles, la adenina va siempre con la timina (o viceversa, la timina va siempre con la adenina) y la guanina siempre se une con la citosina (o viceversa) y están unidas entre sí por puentes de hidrógeno.

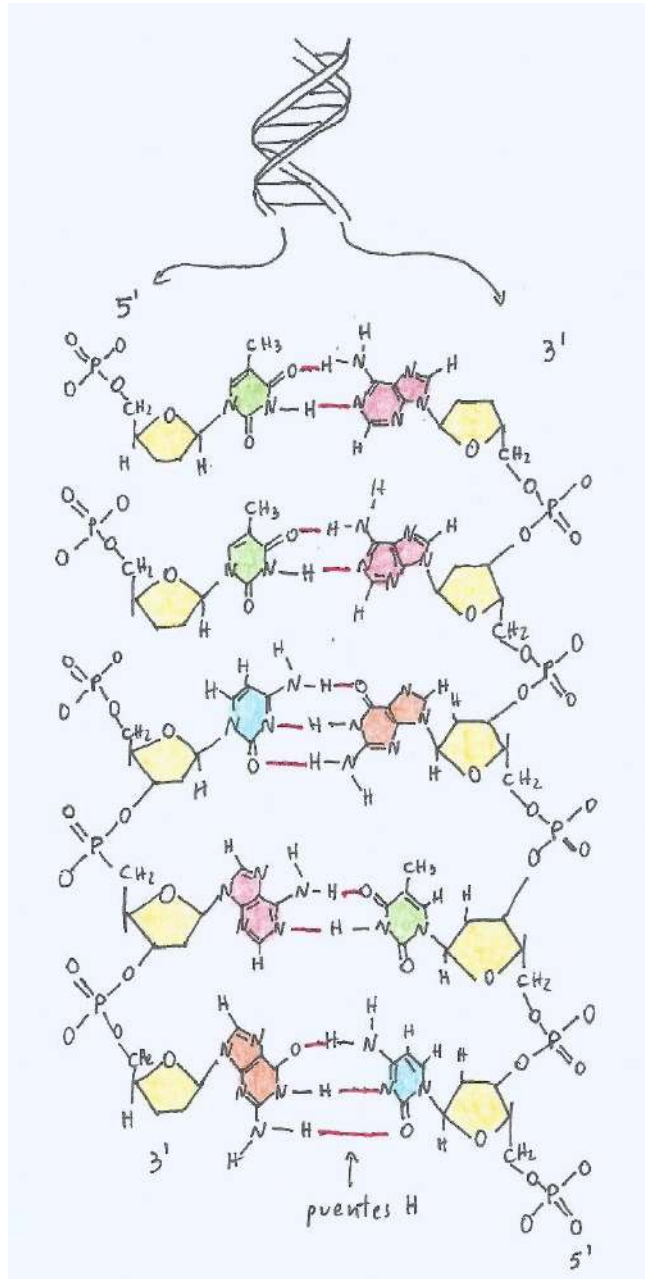


*La estructura de doble hélice del ADN, como fue presentada en 1953 por Watson y Crick.*

Un giro completo de la espiral doble corresponde a 10 monómeros de nucleótidos y los 10 pares de bases se disponen en una pila perpendicular a la columna de pentosas y ácido fosfórico, con una distancia de 0,34 nm entre cada par de bases y un total de 3,4 nm por cada giro completo. La espiral doble tiene un diámetro de 2 nm en promedio. La cadena también tiene dirección: cada grupo fosfato está unido a un azúcar en la posición 5' -el quinto carbono en el anillo de azúcar- y al otro azúcar en la posición 3' -el tercer carbono en el anillo de azúcar-. Así, la cadena tiene un extremo 5' y un extremo 3'.

Las dos cadenas corren en direcciones opuestas, es decir, la dirección desde el extremo 5' al 3' de cada cadena es opuesta y se dice que las cadenas son antiparalelas. Aunque los nucleótidos dispuestos a lo largo de una cadena de la doble hélice pueden presentarse en cualquier orden, su secuencia determina el orden de los nucleótidos en la otra cadena. Esto es necesariamente así, porque las bases son complementarias (G con C y A con T). Esto es la clave para comprender cómo puede duplicarse la molécula de ADN. La duplicación del ADN, o replicación, como suele llamarse, es uno de los fenómenos biológicos más importantes, ya que es una parte esencial y decisiva del mecanismo genético.

Otro hecho sobre la estructura molecular del ADN con gran importancia funcional es la secuencia de sus pares de bases ya que su secuencia no siempre es igual, y esta secuencia de pares de bases es lo que identifica a cada gen entre los nucleótidos que constituyen la molécula de ADN, determinando todos los rasgos hereditarios.



La estructura de doble cadena antiparalelas de una porción de una molécula de ADN.

## ARN

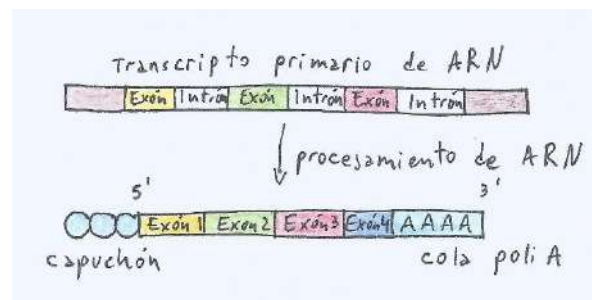
La mayoría de las moléculas de ARN se componen de una hebra, si bien suele replegarse sobre sí misma para formar una estructura compacta. Cada hebra de ARN es una secuencia de ribonucleótidos que se sintetiza a partir de un fragmento de una molécula de ADN. Por lo tanto, las moléculas de ARN son copias del código de información hereditaria contenida en la molécula de ADN y participan en el proceso de síntesis de proteínas. Existen distintos tipos de ARN

### ARN mensajero (ARNm)

Los ARNm transmiten la información en un gen hacia la maquinaria sintetizadora de proteína, donde cada ARNm tiene el código con la secuencia específica de aminoácidos para formar una molécula de proteína específica. Los ARNm eucariota tienen características químicas singulares. El extremo 5' del ARNm tiene una cubierta o caperuza formada por un 7-metilguanosa trifosfato el cual está enlazado a un 2'-O-metil ribonucleósido adyacente en su 5'-hidroxilo por medio de los tres fosfatos. La cubierta participa en el reconocimiento del ARNm por la maquinaria de traducción, y ayuda también a estabilizar el ARNm al evitar el ataque de 5'-exonucleasas. La maquinaria sintetizadora de proteína

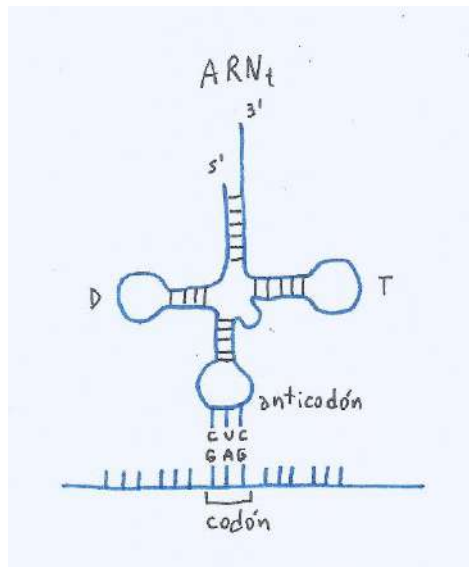
empieza a traducir el ARNm empezando desde el extremo 5' o cubierta. El otro extremo de las moléculas de ARNm, el 3'-hidroxilo terminal, tiene un polímero fijo de residuos adenilato de 50 a 250 nucleótidos de longitud, no genéticamente codificado, la "cola" poli(A) que mantiene la estabilidad intracelular del ARNm específico al impedir el ataque exonucleasas y facilita también la traducción. Tanto la "cubierta" como la "cola poli(A)" de ARNm se agregan luego de la transcripción. El ARNm representa 2 a 5% del ARN total de células eucariotas.

Las moléculas de ARNm presentes en el citoplasma no son los productos del ARN inmediatamente sintetizados a partir del molde de ADN, sino que deben formarse por procesamiento desde el pre-ARNm antes de que entre al citoplasma. De esta manera, los productos inmediatos de la transcripción de un gen son muy heterogéneos y pueden ser de 10 a 50 veces más largos que las moléculas de ARNm maduras. Las moléculas de pre-ARNm se procesan para generar las moléculas de ARNm que después entran al citoplasma para iniciar la síntesis de proteína. Algunos segmentos del transcrito de ARNm representan fragmentos no codificantes del ADN, conocidos como intrones. Los intrones se eliminan para empalmar los segmentos que codifican a las proteínas denominados exones. La unión de los exones produce la forma final editada del ARNm.



## ARN de transferencia (ARNt)

La longitud de las moléculas de ARNt varía desde 74 hasta 95 nucleótidos. También se generan por procesamiento nuclear de una molécula precursora. Las moléculas de ARNt captan los aminoácidos para colocarlos en la cadena polipeptídica durante la síntesis de proteínas leyendo la secuencia del ARNm. Aun cuando cada ARNt específico difiere de los otros en su secuencia de nucleótidos, las moléculas de ARNt tienen muchas características en común. La estructura primaria de todas las moléculas de ARNt permite el plegado para generar una estructura secundaria que aparece en dos dimensiones como una hoja de trébol. Todas las moléculas de ARNt contienen cuatro brazos principales. El brazo aceptor formado por el extremo 5' y el extremo 3', que en todos los ARNt posee la secuencia CCA, cuyo grupo -OH terminal sirve de lugar de unión con el aminoácido. El brazo T, que actúa como lugar de reconocimiento del ribosoma. El brazo D, cuya secuencia es reconocida de manera específica por una de las veinte enzimas, llamadas aminoacil-ARNt sintetetas, encargadas de unir cada aminoácido con su correspondiente molécula de ARNt. El anticodón, que contiene una secuencia de tres bases complementarias al codón del ARNm.



## ARN ribosómico (ARNr)

Es un ARN que forma parte de los ribosomas y es esencial para la síntesis proteica en todos los seres vivos. Los ARNr forman el armazón de los ribosomas y se asocian a proteínas específicas para formar las pre-subunidades ribosomales. Es el material que predomina en el ribosoma, que en peso consiste de aproximadamente 60% de ARNr y 40% de proteínas. Los ribosomas contienen dos principales tipos de ARNr que forman dos subunidades: la subunidad mayor (que es una ribozima que cataliza la formación de enlaces peptídicos) y la subunidad menor. El ARNr es el tipo de ARN más abundante en las células y está formado por una sola cadena de nucleótidos, aunque presenta regiones de doble hélice intracatenaria. Las secuencias de ARNr son ampliamente utilizadas para deducir relaciones evolutivas entre organismos puesto que se encuentran en todas las formas de vida. Todas las moléculas de ARN ribosómico, excepto el ARNr 5S, que se transcribe de modo independiente, se procesan a partir de una molécula de ARN precursora 45S única en el nucléolo.

## ARN nucleares pequeños (ARNsn)

Los ARNsn, un subgrupo de los ARN pequeños, participan de manera importante en el procesamiento de ARNr y ARNm, y en la regulación del gen.

En las células eucariotas se encuentra gran número de especies de ARN separadas, muy conservadas, y pequeñas; algunas son bastante estables. Casi todas estas moléculas forman complejos con proteínas para constituir ribonucleoproteínas, y están distribuidas en el núcleo, el citoplasma, o ambos. Su tamaño varía de 20 a 1000 nucleótidos, y están presentes en 100000 a 1000000 de copias por célula, lo que representa en conjunto  $\leq 5\%$  del ARN celular.

## Micro-ARN, miARN, y pequeños ARN, siARN que interfieren, y ARN no codificador

Uno de los descubrimientos más interesantes e inesperados de la biología fue la identificación y caracterización de ARNmi, una clase de ARN pequeños que se encuentra en casi todos los eucariotas. Casi todos los ARNmi y ARNsi conocidos originan inhibición de la expresión de un gen al aminorar la producción de proteína específica mediante distintos mecanismos. Los ARNmi típicamente tienen 21 a 25 nucleótidos de largo, y se generan por medio de procesamiento nucleolítico de los productos de unidades de genes/transcripción separadas. Los precursores del ARNmi son monocatenarios, pero tienen estructura secundaria intramolecular extensa. El tamaño de estos precursores varía desde aproximadamente 500 hasta 1000 nucleótidos; es característico que los miARN maduros procesados pequeños se hibriden, mediante la formación de dúplex de ARN-ARN imperfectos, de ARNm blanco específicos, lo que lleva, por medio de mecanismos que se entienden poco, a paro de la traducción. Hasta la fecha, se han descrito cientos de ARNmi distintos en seres humanos; los estimados sugieren que hay  $\sim 1000$  genes que codifican para ARNmi en seres humanos. Al igual que con los ARNmi, los ARNsi se derivan de la división nucleolítica específica de ARN de mayor tamaño para formar de nuevo productos pequeños, de 21 a 25 nucleótidos de largo. Estos ARNsi cortos por lo general forman híbridos ARN-ARN perfectos. La formación de esos dúplex ARN-ARN entre ARNsi y ARNmi causa producción reducida de proteína.

## Unidad 3

### La célula. Estructura y función

#### Anatomía celular

En la naturaleza existe una sorprendente diversidad de tipos celulares que, a la vez, tienen una notable similitud. Cada célula es capaz de llevar a cabo esencialmente los mismos procesos: obtener y asimilar nutrientes, eliminar los desechos metabólicos, sintetizar nuevos componentes para la célula y reproducirse.

Las células son las unidades básicas de la estructura y función biológicas, pero pueden diferir ampliamente en tamaño y forma. El tamaño de las células está limitado por la relación entre superficie y volumen; cuanto mayor es la superficie de una célula en proporción a su volumen, mayor será la cantidad de materiales que pueden entrar o salir de ella en un espacio de tiempo dado. El tamaño celular también está limitado por la capacidad del núcleo para regular las actividades celulares. Las células metabólicamente más activas tienden a ser pequeñas.

Las células tienen una compleja arquitectura interna que les permite realizar todas sus funciones. En las células eucariotas existe una variedad de estructuras internas, las organelas, que son similares o idénticas de una célula a otra en una amplia variedad de tipos celulares.

Las células están separadas del medio circundante por una membrana celular. Esta membrana restringe el paso de sustancias de afuera hacia el interior y viceversa, y protege de esta manera su integridad estructural y funcional. Las células vegetales, de la mayoría de las algas, hongos y procariotas, están además separadas del ambiente por una pared celular elaborada por las mismas células.

El núcleo de las células eucariotas está separado del citoplasma por la envoltura nuclear, formada por dos bicapas lipídicas. Los poros de la envoltura nuclear suministran los canales a través de los cuales pasan las moléculas desde y hacia el citoplasma. El núcleo contiene el material genético, los cromosomas, que, cuando la célula no está dividiéndose, existen en una forma extendida llamada cromatina. Al actuar juntamente con el citoplasma, el núcleo ayuda a regular las actividades de la célula.

El citoplasma de la célula es una solución acuosa concentrada que contiene enzimas, moléculas disueltas e iones. Las células eucariotas contienen una gran cantidad de organelas, la mayoría de las cuales no existen en las células procariotas.

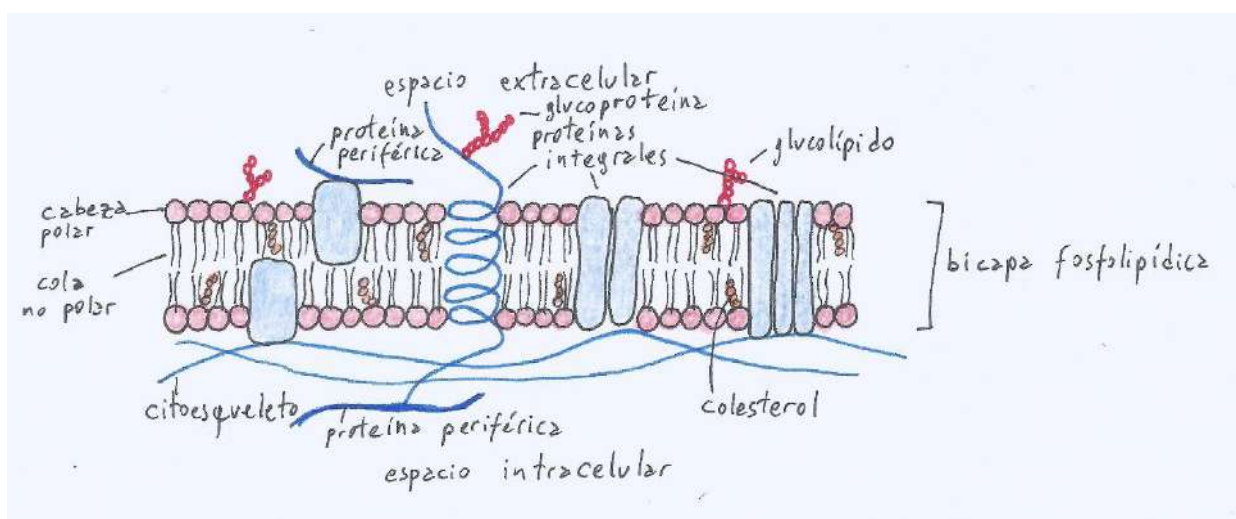
El citoplasma eucariótico tiene un citoesqueleto que sirve de soporte e incluye microtúbulos, filamentos de actina y filamentos intermedios. El citoesqueleto mantiene la forma de la célula, le permite moverse, fija sus organelas y dirige su tránsito.

#### Límites celulares y subcelulares: la membrana plasmática

Todas las células son básicamente muy semejantes, tanto las células procariotas como las eucariotas. Todas tienen ADN como material genético, desempeñan los mismos tipos de reacciones químicas y están rodeadas por una membrana celular externa. La membrana celular –o plasmática– es esencial en la vida celular. No solamente define los límites de la célula, sino que además permite que la célula exista como una entidad diferente de su entorno. Las membranas celulares de eucariotas y procariotas, así como las de las organelas de células eucariotas, tienen la misma estructura básica. Sin embargo, hay diferencias en los tipos de lípidos y, particularmente, en el número y tipo de proteínas y carbohidratos. Estas diferencias confieren a las membranas de diferentes tipos de células y de diferentes organelas propiedades únicas que pueden correlacionarse con diferencias en la función.



Las proteínas, extremadamente diversas en su estructura, desempeñan una variedad de actividades y son las responsables de la mayoría de las funciones esenciales que cumplen las membranas biológicas. Esta membrana regula el tránsito de sustancias hacia fuera y hacia adentro de la célula. En las células eucariotas, además, define los compartimientos y organelas, lo que permite mantener las diferencias entre su contenido y el citosol. La membrana celular, como todas las membranas biológicas, consiste en una delgada capa de fosfolípidos y proteínas; tiene entre 7 y 9 nanómetros de grosor y no puede ser resuelta por el microscopio óptico. En cambio, con el microscopio electrónico, puede verse como una doble línea delgada y continua. Las membranas están generalmente rodeadas por un medio acuoso, lo que hace que las moléculas de fosfolípidos se dispongan formando una bicapa. La interpretación actual de la organización molecular de la membrana plasmática consiste en el llamado modelo del mosaico fluido, las membranas celulares son estructuras fluidas y dinámicas, compuestas por moléculas de fosfolípidos, proteínas y de colesterol. Las moléculas de fosfolípidos forman un estrato doble, la bicapa fosfolipídica, de carácter anfipático, es decir que tiene una parte hidrofílica y una hidrofóbica. Las cadenas de ácidos grasos están enfrentadas en la porción interna, la zona hidrófoba. Las superficies de las membranas están formadas por los grupos polares, la zona hidrofílica. Las proteínas constituyen casi la mitad de la masa total de la membrana y la mayoría están incluidas dentro de la bicapa o la atraviesan totalmente. Estas proteínas se denominan proteínas integrales de membrana. Algunas proteínas son enzimas y regulan reacciones químicas particulares; otras son receptores, implicados en el reconocimiento y unión de moléculas señalizadoras, tales como las hormonas; y otras son proteínas de transporte, que desempeñan papeles críticos en el movimiento de sustancias a través de la membrana. Los otros tipos de proteínas que se conocen como proteínas periféricas de membrana no están insertadas en la bicapa lipídica, sino que están unidas por medio de interacciones iónicas fuertes. Además, en la superficie extracelular de la membrana plasmática se pueden unir carbohidratos a las proteínas para formar glucoproteínas, o a los lípidos de la bicapa, para formar glucolípidos. Estas moléculas asociadas forman una capa en la superficie de la célula, que se conoce como glucocálix y contribuye a establecer microambientes extracelulares en la superficie de la membrana que tienen funciones específicas en el metabolismo, reconocimiento celular, asociación de las células y sirven como sitios receptores de hormonas.



*Modelo de la membrana plasmática de una célula animal*

Una distinción fundamental entre las células animales y vegetales es que las células vegetales están rodeadas por una pared celular de celulosa. La pared se encuentra por fuera de la membrana y es construida por la célula. La pared primaria contiene, principalmente, moléculas de celulosa asociadas en haces de microfibrillas dispuestos en una matriz de polímeros viscosos.

Las paredes celulares procariontas contienen polisacáridos y polímeros complejos conocidos como peptidoglicanos, formados a partir de aminoácidos y azúcares.

## El núcleo



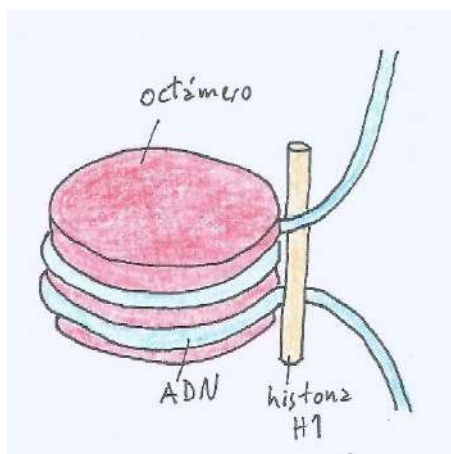
El núcleo es un cuerpo grande, frecuentemente esférico, aunque puede tener morfología muy variable, es discoidal en las células planas, esferoidal en las células cúbicas, ovoideo en las células cilíndricas y musculares, y en ciertas poblaciones celulares puede ser irregular o lobulado. Generalmente es la estructura más voluminosa dentro de las células eucariotas. La mayoría de las células tienen un solo núcleo, pero algunas pueden tener dos o más. El núcleo contiene la información genética, junto con la maquinaria para la duplicación del ADN y para la transcripción y procesamiento del ARN.

El núcleo tiene los siguientes componentes:

- Cromatina, formada por ADN asociado a proteínas que se llaman histonas
- Nucléolo, región pequeña dentro del núcleo que contiene ADN para la síntesis de ARN ribosómico y contiene proteínas reguladoras del ciclo celular.
- Envoltura nuclear, compuesta por una membrana interna y otra externa separadas por un espacio y perforada por los poros nucleares. La membrana externa se continúa con el retículo endoplasmático rugoso y con frecuencia tiene ribosomas adheridos.
- Nucleoplasma, es todo el contenido nuclear que no es cromatina ni nucléolo.

## Cromatina. El cromosoma eucariótico

El ADN eucariótico está muy plegado y compactado dentro del núcleo formando un complejo nucleoproteico llamado cromatina, este complejo consiste en ADN de doble cadena enrollado sobre proteínas básicas denominadas histonas, entre las proteínas histonas hay cinco tipos, H1, H2A, H2B, H3 y H4 y otras proteínas no histonas. La cromatina tiene aspecto de collar de cuentas, estas estructuras granulares tienen 10nm de diámetro y se denominan nucleosomas, están formados por un segmento de ADN de unos 200 pares de bases enrollado alrededor de un octámero de proteínas histonas (H2A, H2B, H3 y H4).



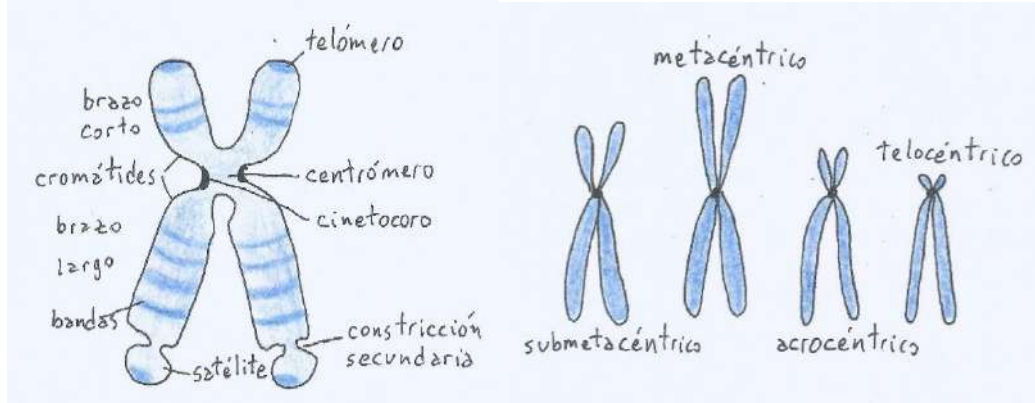
*Estructura de un nucleosoma. El ADN negativamente cargado se enrolla dos veces alrededor de un centro de proteínas cargadas positivamente. Una molécula de histona H1 (también cargada positivamente) se une a la superficie externa del nucleosoma.*

En la mayoría de las células la cromatina no tiene un aspecto homogéneo, hay cromatina muy condensada y compacta que se denomina heterocromatina y otra más dispersa, laxa y muy funcional llamada eucromatina (en donde están la mayoría de los genes transcritos).

La eucromatina y la heterocromatina representan estados funcionales reversibles de la cromatina, de las histonas depende la transición entre una forma y otra, ya que varias enzimas pueden modificarlas u afectar la interacción entre el ADN y las histonas, afectando el enrollamiento de la cromatina. En el estado de eucromatina el ADN interacciona débilmente con las histonas y esto permite el acoplamiento de los factores de transcripción. Cuando finaliza la transcripción la eucromatina se transforma paulatinamente en heterocromatina, es decir que los genes se inactivan y pasan a formar parte de la heterocromatina.

Durante la división celular, los filamentos de cromatina se condensan y forman cuerpos alargados y densos que se colorean intensamente y visibles al microscopio óptico que se denominan cromosomas.

Cada cromosoma está compuesto por dos cromátides unidas en un punto denominado centrómero o constricción primaria y la región ubicada en cada extremo del cromosoma se llama telómero. En los extremos de las cromátides de algunos cromosomas se encuentran los satélites, estructuras redondeadas separadas del resto del cromosoma por una constricción secundaria. La ubicación del centrómero varía de un cromosoma a otro, en los cromosomas metacéntricos se encuentra en la parte media del cromosoma, en los cromosomas submetacéntricos el centrómero divide al cromosoma en brazos mayores y menores, y en los acrocéntricos el centrómero se ubica muy cercano a uno de los extremos del cromosoma.

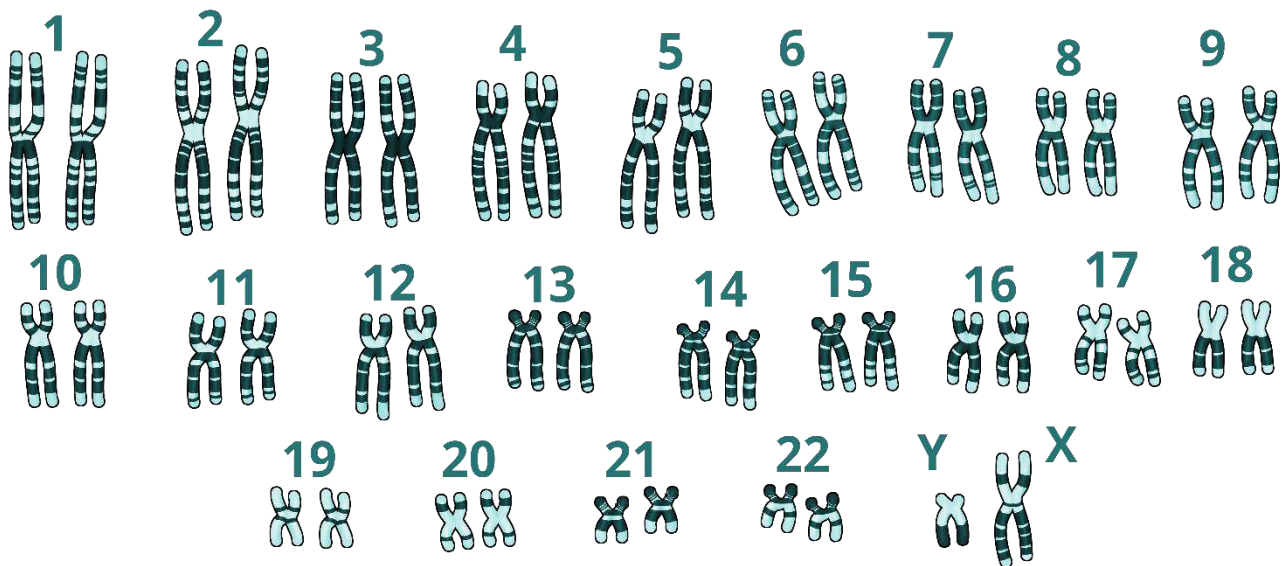


Esquema de un cromosoma humano

Clasificación de los cromosomas por la ubicación del centrómero

Con la excepción de los gametos maduros, óvulo y espermatozoide, las células humanas contienen 46 cromosomas organizados en 23 pares homólogos, 22 pares son los autosomas y el par 23 contiene los cromosomas sexuales, denominados X e Y, las mujeres tienen 2 cromosomas X y los varones uno X y uno Y. En cada par de cromosomas uno es de origen materno y el otro de origen paterno, denominados cromosomas homólogos. Los cromosomas homólogos son morfológicamente idénticos, excepto en individuos genéticamente masculinos en el par XY.

El cariotipo es el conjunto de cromosomas de una célula. En un cariotipo se dispone el conjunto de cromosomas en pares clasificados de acuerdo a su tamaño y forma. Para ello se emplean cultivos de tejidos, se estimula la división celular mediante el agregado de un mitógeno y la mitosis se detiene en metafase. Después se rompen las células, se fijan y colorean, en estos preparados se observan los cromosomas. Para asegurar la identificación óptima de los pares de cromosomas se aplican métodos de tinción de bandas.



Cariotipo humano

La cantidad total de cromosomas, 46, se halla en la mayoría de las células somáticas y se denomina cantidad diploide ( $2n$ ). Para indicar la cantidad de cromosomas durante las divisiones celulares se

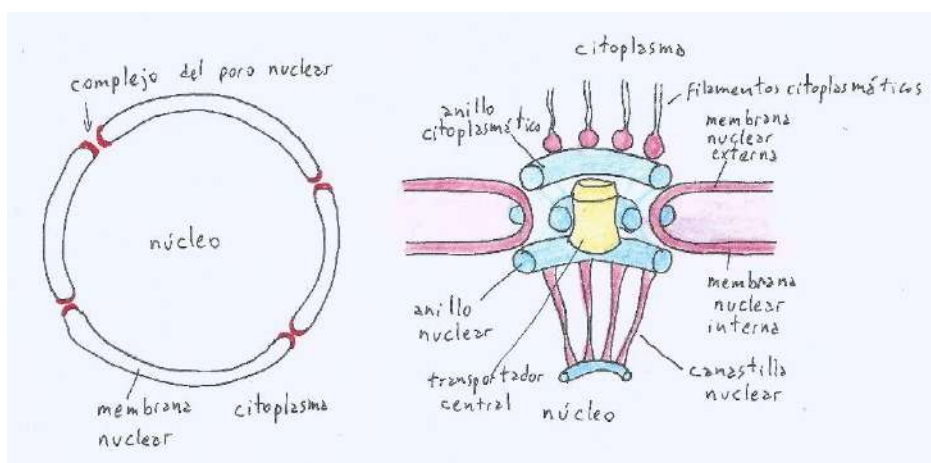
utiliza la letra "n" y para referirnos a la cantidad de ADN la tetra "d". Los cromosomas diploides poseen la cantidad 2d y los óvulos o espermatozoides contienen la cantidad haploide 1n y 1d.

## Nucléolo

El cuerpo más conspicuo dentro del núcleo es el nucléolo. Hay típicamente uno o dos nucléolos por núcleo. El nucléolo es el sitio en el que se construyen las subunidades que constituyen los ribosomas. Visto con el microscopio electrónico, el nucléolo aparece como un conjunto de delicados gránulos y fibras diminutas. Estos gránulos y fibras están constituidos por filamentos de cromatina, ARN ribosómico que está siendo sintetizado y partículas de ribosomas inmaduros. Los nucléolos pueden variar en tamaño en relación con la actividad sintética de la célula, y pueden llegar a representar un 25% del volumen total nuclear.

## Membrana nuclear

La membrana nuclear se compone de dos membranas lipídicas concéntricas, separadas por un espacio de unos 15 nm, la cisterna perinuclear, ambas membranas se fusionan a determinados intervalos dando lugar a la formación de los poros nucleares que contiene un complejo de poro nuclear, formado por una intrincada estructura proteica de forma octogonal. Los complejos de poros nucleares son canales por los cuales se produce un intercambio regulado de moléculas entre el nucleoplasma y el citoplasma.



Esquema del complejo del poro nuclear

## Nucleoplasma

Es el material encerrado por la envoltura nuclear a excepción de la cromatina y el nucléolo, contiene agua, inclusiones cristalinas proteínas y metabolitos relacionados con la actividad sintética y metabólica de la cromatina y el nucléolo.

## Citoplasma y orgánulos

El citoplasma está limitado por la membrana plasmática y rodea al núcleo celular. La mayor parte de los procesos metabólicos celulares ocurren en el citoplasma pero dirigidos por el núcleo. La cantidad de citoplasma varía en los distintos tipos de células, pero en general es más voluminoso que el núcleo. El citoplasma es una solución acuosa, llamada citosol o matriz citoplasmática, que contiene gran cantidad de estructuras diminutas denominadas organelas. La matriz citoplasmática es un gel acuoso con moléculas de diferentes tamaños y formas, como, por ejemplo: electrolitos, metabolitos,

ARN, proteínas, las cuales le confieren mayor densidad y una consistencia gelatinosa. Es el sitio donde ocurren los procesos fisiológicos fundamentales para la vida.

Con el fin de facilitar su estudio, las organelas se dividen en dos grupos:

- Organelas membranosas: son sáculos o canales formados por membranas celulares
- Organelas no membranosas: no poseen membrana, sino que están formados por filamentos u otras partículas.

## Organelas membranosas

### Retículo endoplasmático

Es un sistema de sacos que forman una red anastomosada de túbulos ramificados o bolsas aplanadas que forman cisternas que tienen una disposición en paralelo.

El retículo endoplasmático desempeña diversas funciones en la célula y se distinguen dos tipos: el retículo endoplasmático liso y el retículo endoplasmático rugoso.

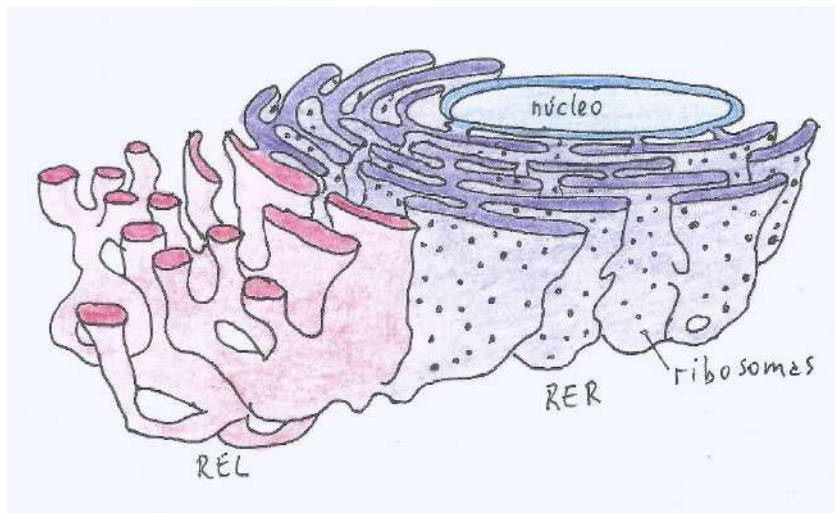
#### Retículo endoplasmático liso (REL)

Tiene forma de túbulos limitados por membrana que forman una densa red que por lo general no forman cisternas. Contiene enzimas sintetizadas en el RER, que se encargan de sintetizar determinados lípidos e hidratos de carbono, entre los que se encuentran las hormonas esteroideas y algunos de los carbohidratos utilizados para formar glucoproteínas. También se sintetizan aquí los lípidos que constituyen las membranas celulares. Cuando se producen estos lípidos de membrana, pasan simplemente a formar parte de la pared del REL. De cuando en cuando se desprenden pequeños fragmentos del REL, que se dirigen a otras organelas membranosas, incluso a la membrana plasmática, sumándose a su membrana. Por tanto, el REL es la organela que produce la membrana de toda la célula. El REL también transporta iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) desde el citosol a las cisternas del REL, de forma que contribuye a mantener una concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  baja en el interior celular. También tiene función de detoxificación eliminando compuestos endógenos o exógenos.

El retículo endoplasmático liso se encuentra muy desarrollado en células especializadas en la síntesis o metabolismo de lípidos, como las células glandulares que producen hormonas esteroideas y también se encuentra muy desarrollado en las células hepáticas, donde parece estar relacionado con varios procesos de desintoxicación (una de las muchas funciones del hígado).

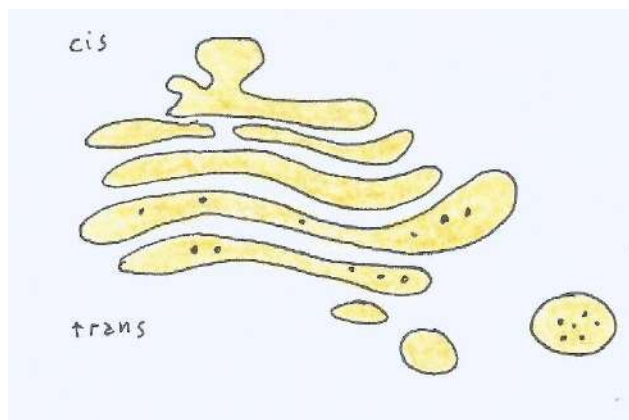
#### Retículo endoplasmático rugoso (RER)

El RER se compone de sáculos anchos y aplanados que se disponen convexamente desde la membrana nuclear. Sobre la superficie de los sáculos hay gran cantidad de ribosomas adheridos que le dan el aspecto rugoso. Generalmente está ubicado muy cercano al núcleo. Los ribosomas son orgánulos encargados de la síntesis de proteínas. Las proteínas fabricadas en el RER viajan a través de los sáculos y se incorporan a la membrana y muchas de ellas se transportan al aparato de Golgi en el que sufren nuevas modificaciones y algunas permanecen localizadas en orgánulos citoplasmáticos como los lisosomas y otras terminan por secretarse al espacio extracelular.



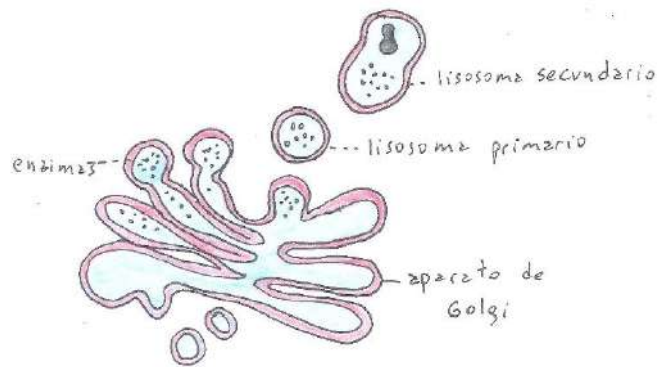
## Aparato de Golgi

El aparato de Golgi es una organela membranosa formada por diminutos sacos o cisternas, apiladas unas sobre otras y situadas a continuación del RE. Como el retículo endoplásmico, el aparato de Golgi procesa moléculas dentro de sus membranas; de hecho, parece formar parte del mismo mecanismo que prepara las moléculas proteicas para su salida de la célula. El aparato de Golgi es un centro de procesamiento y compactación de materiales que se mueven a través de la célula y salen de ella. Cada aparato de Golgi recibe vesículas del retículo endoplásmico, modifica sus membranas y sus contenidos e incorpora los productos terminados en vesículas de transporte que los llevan a otras partes del sistema de endomembranas, a la superficie celular y al exterior de la célula. Las diferentes etapas de este procesamiento químico ocurren en diferentes cisternas del complejo de Golgi y los materiales son transportados de una cisterna a la siguiente por medio de las vesículas. Después de completarse el procesamiento químico, el nuevo material de membrana, compactado dentro de las vesículas, es enviado a su destino final. El lado más cercano al núcleo es el cis y el más alejado es el lado trans.



## Lisosomas

Los lisosomas son un tipo de vesícula relativamente grande, formada en el complejo de Golgi, contienen enzimas hidrolíticas a las que aíslan de la célula y están implicados en las actividades digestivas intracelulares de algunas células. Estas enzimas están implicadas en la degradación de proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos. Para su óptima actividad, las enzimas hidrolíticas requieren de un medio ácido. Los lisosomas proveen este medio ya que su pH interno se mantiene cercano a 5. Las enzimas lisosomales son capaces de hidrolizar a todos los tipos principales de macromoléculas que se encuentran en una célula viva. Las enzimas hidrolíticas que los lisosomas liberan en las vacuolas, digieren su contenido. Las enzimas no destruyen la membrana de los lisosomas que las contienen.



## Peroxisomas

Los peroxisomas son otro tipo de vesícula relativamente grande presente en la mayoría de las células eucariotas; contienen enzimas oxidativas que remueven el hidrógeno de pequeñas moléculas orgánicas y lo unen a átomos de oxígeno formando peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), un compuesto que es extremadamente tóxico para las células vivas y es degradado rápidamente por la enzima catalasa, que escinde inmediatamente el peróxido de hidrógeno en agua e hidrógeno, evitando cualquier daño a las células. También participan en muchos procesos metabólicos como la beta oxidación de ácidos grasos, degradación de purinas y síntesis de ácidos biliares. Los peroxisomas son particularmente abundantes en las células hepáticas, donde participan también en la desintoxicación de algunas sustancias.

## Endosomas

Los endosomas pueden considerarse orgánulos citoplasmáticos estables o estructuras temporarias formadas como consecuencia de la endocitosis, están ubicados cerca de la membrana plasmática. Pueden transformarse en lisosomas.

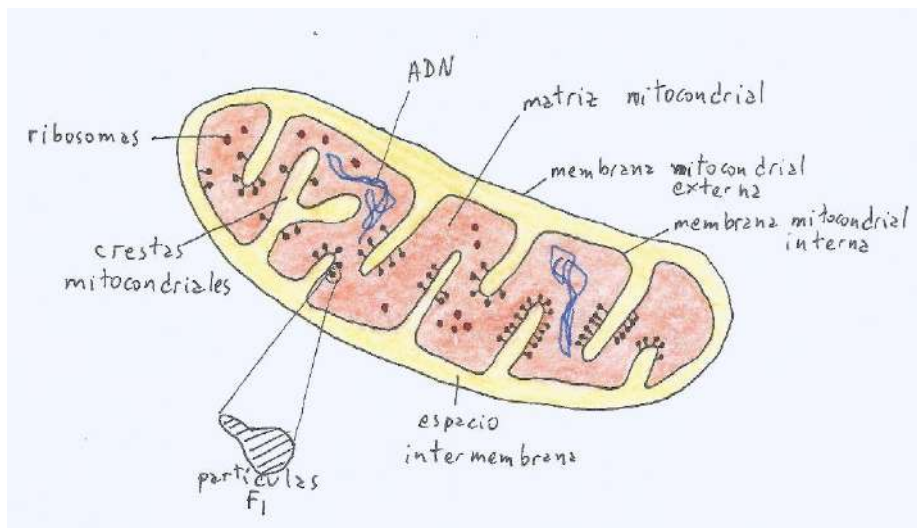
## Mitocondrias

Las mitocondrias son organelas con forma de grano, bastón o filamento, están siempre rodeadas por dos membranas, la más interna se pliega hacia adentro. Estos pliegues, conocidos como crestas, son superficies de trabajo para las reacciones mitocondriales y contienen las partículas  $F_1$ , que son enzimas para la producción de energía. La función mitocondrial más importante es la producción de energía por degradación de glucosa y de ácidos grasos. La glucosa es la fuente de energía de primera elección. Es decir que las moléculas orgánicas que almacenan energía química son degradadas y la energía liberada es almacenada en unidades más pequeñas, las moléculas de ATP, que será utilizada luego en otros procesos celulares. En general, cuanto mayores son los requerimientos energéticos de una célula eucariota en particular, más mitocondrias contiene.

Las mitocondrias también perciben el estrés celular y pueden decidir si la célula vive o muere mediante el inicio de la apoptosis (muerte celular programada).

Las mitocondrias presentan vestigios de su vida como organismos independientes. Se reproducen por fisión binaria como las bacterias, tienen un pequeño genoma que codifica para algunas de sus proteínas y tienen además ribosomas similares a los procarióticos.





## Vesículas

Son pequeños sáculos membranosos que almacenan temporalmente moléculas para su transporte o uso posterior.

## Organelas no membranosas

### Ribosomas

Los organelas más numerosas (tanto en procariontas como en eucariotas) son los ribosomas, son los orgánulos donde se sintetizan las proteínas. Están constituidos por dos subunidades, cada una de las cuales está formada por un complejo de ARN ribosomal y proteínas. Tanto en las células procariontas como en las eucariotas, los ribosomas tienen una estructura similar, sin embargo, los ribosomas de las células eucariotas son un poco más grandes. Los ribosomas eucariotas tienen un tamaño 80s formados por una subunidad mayor 60s y una subunidad menor 40s. En las células procariontas los ribosomas son 70s y sus subunidades son 50s y 30s respectivamente.

Los ribosomas son los sitios en los cuales ocurre el acoplamiento de los aminoácidos que forman las proteínas. Pueden estar adheridos al retículo endoplasmático o estar libres en el citoplasma. Cuanta más proteína esté fabricando una célula, más ribosomas tendrá.

Los ribosomas unidos al retículo endoplasmático sintetizan proteínas de secreción, proteínas que permanecen en la luz de organelas citoplasmáticas y proteínas integrales de membrana. Los que están libres en el citoplasma las fabrican para el consumo de la propia célula como proteínas estructurales (citoesqueleto), funcionales (enzimas) y ciertas proteínas mitocondriales.

La estructura del ribosoma es temporal, el ensamblaje de las dos subunidades tiene lugar en presencia de una molécula de ARNm para iniciar la síntesis de proteína y se separan al finalizar la misma.

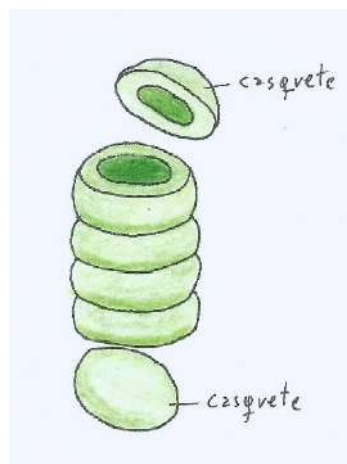
Los ribosomas activos suelen agruparse en polirribosomas o polisomas para realizar su función, los polisomas se ensamblan cuando más de un ribosoma comienza a sintetizar la misma proteína. Se mantienen unidos por una hebra de ARNm y forman círculos, espirales o rosetas.





## Proteosomas

Son orgánulos encargados de la degradación de proteínas celulares. Tiene forma de cilindro hueco formado por subunidades proteicas. Están ubicados en el citoplasma y se encargan de la degradación de proteínas anómalas y plegadas incorrectamente secretadas por el RE, así como de proteínas citoplasmáticas reguladoras que ya no son necesarias.



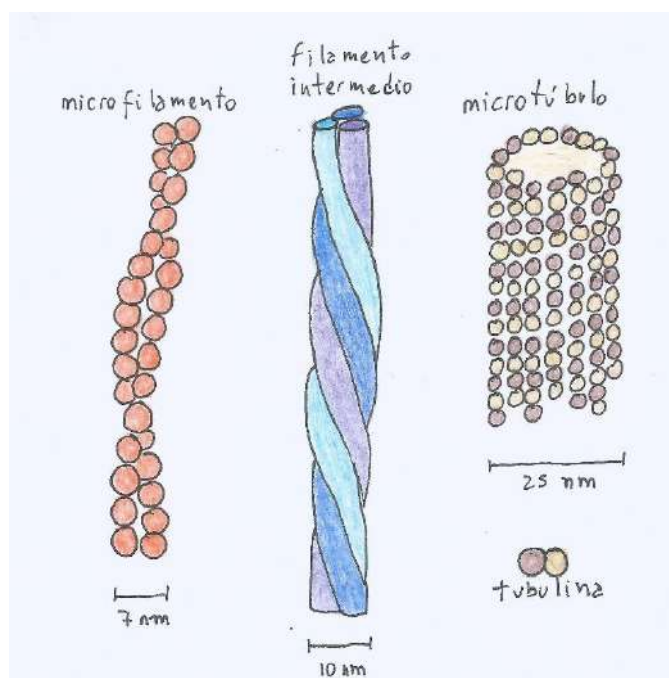
## Citoesqueleto

La observación del interior de la célula en tres dimensiones ha revelado interconexiones antes insospechadas entre estructuras de proteínas filamentosas dentro del citoplasma de células eucariotas. Estas estructuras forman un esqueleto celular, el citoesqueleto, que mantiene la organización de la célula, le permite moverse, posiciona sus organelas y dirige el tránsito intracelular. Se han identificado tres tipos diferentes de filamentos como integrantes principales del citoesqueleto: los microtúbulos, los filamentos de actina (también conocidos como microfilamentos) y los filamentos intermedios.

Todas las células exhiben alguna forma de movimiento. Aun las células vegetales, encerradas por una pared celular rígida, muestran movimientos del citoplasma dentro de la célula, movimientos cromosómicos y cambios de forma durante la división celular, además del movimiento de vesículas y organelas.

Los microtúbulos son tubos huecos, largos, organizados a partir de dímeros de proteínas globulares, las tubulinas alfa y beta. Crecen por el agregado de dímeros y también pueden desarmarse por la eliminación de dímeros, de acuerdo con las necesidades de la célula y, en muchas células, se extienden radiando desde un centro organizador próximo al núcleo y terminan cerca de la superficie celular.

Los filamentos de actina son delicadas hebras de proteínas globulares. Cada filamento está constituido por muchas moléculas de actina unidas en una cadena helicoidal. Los filamentos de actina también pueden ser integrados y desintegrados fácilmente por la célula y también desempeñan papeles importantes en la división y la motilidad celular.



Los filamentos intermedios, como lo indica su nombre, son intermedios en tamaño entre los microtúbulos y los filamentos de actina. Los filamentos intermedios están compuestos por proteínas fibrosas y no pueden ser tan fácilmente desintegrados por la célula una vez que han sido formados. Cada una de las moléculas proteicas que constituyen un filamento intermedio tiene una porción con forma de bastón de longitud constante, con regiones terminales que varían en su longitud y en su composición de aminoácidos. Los filamentos intermedios constituyen la lámina nuclear.

La lámina nuclear se interrumpe en los poros nucleares y actúa como soporte de la membrana nuclear interna. Los filamentos intermedios son particularmente prominentes en células que soportan tensión mecánica, como las células de la piel y el intestino.

Los microtúbulos del citoesqueleto están involucrados en la división celular. Entre una división celular y otra, funcionan como "rieles" sobre los cuales se mueven unidireccionalmente proteínas motoras asociadas, llevando cargas especiales tales como organelas, vesículas llenas de hormonas, neurotransmisores o nutrientes.

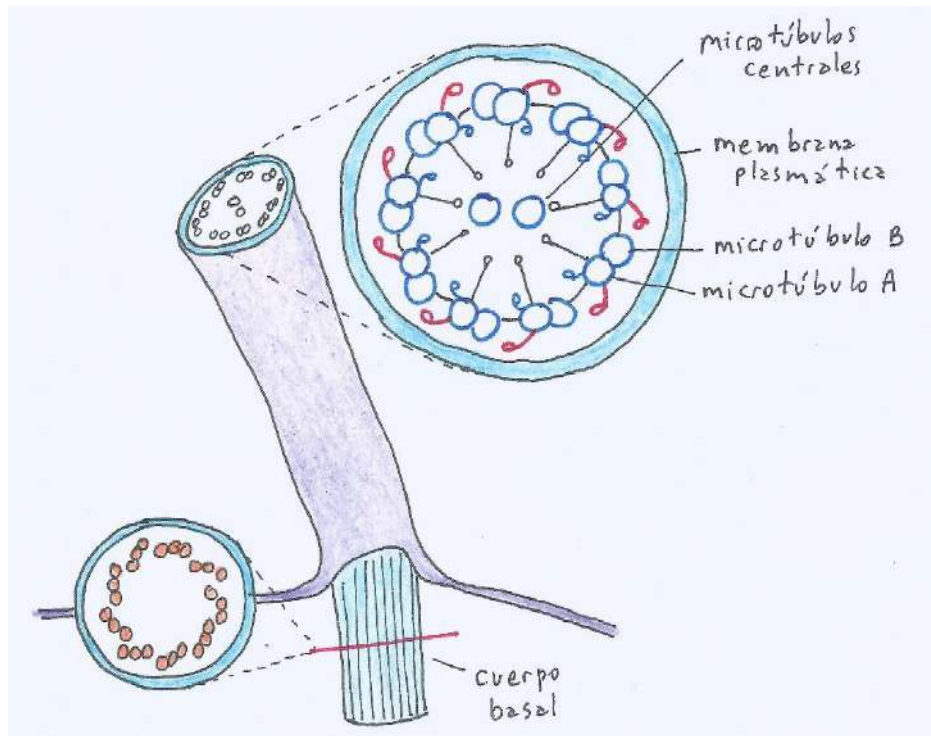
Los microtúbulos son también componentes claves de los cilios y flagelos, estructuras permanentes usadas para la locomoción por muchos tipos de células. Estas estructuras largas y delgadas, presentes en las células eucariotas, se extienden desde la superficie de las células. Los cilios y flagelos tienen la misma estructura, sólo que, cuando son cortos y aparecen en cantidades grandes se los llama cilios y cuando son más largos y más escasos se los llama flagelos. Las células procariotas también tienen flagelos, pero su construcción es tan diferente de los de las células eucariotas, que es útil darles un nombre diferente: undulipodios.

En muchos organismos unicelulares o multicelulares pequeños, los cilios y los flagelos están asociados con el movimiento del organismo.

Por otra parte, la fuerza motriz de los espermatozoides humanos proviene de su poderoso flagelo único o "cola" y muchas de las células que tapizan las superficies existentes dentro de nuestro cuerpo, son ciliadas. Los óvulos humanos son impulsados hacia abajo por las trompas a causa del batir de los cilios que tapizan las superficies internas de estos tubos. Los cilios y los flagelos eucariota, ya

sean de un Paramecio o de un espermatozoide, tienen la misma estructura interna y se originan en los cuerpos basales.

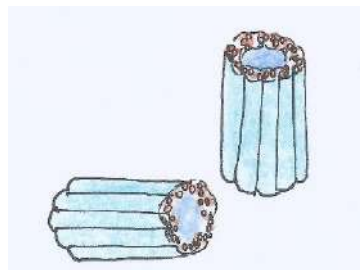
Virtualmente todos los cilios y flagelos eucariota tienen la misma estructura interna que consiste en un anillo externo de nueve pares de microtúbulos que rodean a otros dos microtúbulos centrales (estructura 9+2). Los microtúbulos se deslizan unos sobre otros por la acción de la proteína dineína que funciona como una ATPasa. Los "brazos", los rayos y los enlaces que conectan los microtúbulos están formados por diferentes tipos de proteínas. Los cuerpos basales de los que arrancan los cilios y los flagelos, tienen únicamente nueve tripletes externos, sin microtúbulos centrales. El "eje de la rueda" en el cuerpo basal no es un microtúbulo, aunque tiene aproximadamente el mismo diámetro.



## Centrosoma

Es la región del citoplasma próxima al núcleo que contiene los centriolos y el material pericentriolar, coordina la organización y desorganización de los microtúbulos, por eso también se llama centro organizador de microtúbulos (COMT).

Los centriolos se encuentran en pares, formando un ángulo recto entre ambos, son cilindros pequeños de aproximadamente 0,2 micrómetros de diámetro, formados por 9 tripletes de microtúbulos, con frecuencia se hallan parcialmente rodeados por el aparato de Golgi y alrededor contienen un material pericentriolar denso y amorfo. Los centriolos son estructuralmente idénticos a los cuerpos basales.



El COMT contiene centriolos y muchas estructuras que inician la formación de microtúbulos, importante durante la mitosis. También proveen cuerpos basales para el armado de los cilios y flagelos.

El centrosoma es el principal centro organizador de microtúbulos y desempeña un papel en la organización de una estructura formada por microtúbulos, conocida como el huso mitótico, que

aparece en el momento de la división celular y está relacionada con el movimiento de los cromosomas. Sin embargo, las células en las que los centrosomas no tienen centriolos, como las células de las plantas con flor, también son capaces de organizar microtúbulos para formar el huso.

## Inclusiones

Las inclusiones contienen productos de la actividad metabólica de la célula y consisten principalmente en gránulos de pigmento, gotitas de lípidos y glucógeno.

La lipofucsina es un pigmento que se ve con frecuencia en células que no se dividen, como las neuronas o células musculares esqueléticas o cardíacas, y se acumula como consecuencia del envejecimiento celular. También puede encontrarse en células fagocíticas.

La hemosiderina es un complejo de hierro depositado en muchas células formado por residuos no digeribles de hemoglobina.

El glucógeno es un polisacárido utilizado como forma de almacenamiento de glucosa.

Las inclusiones lipídicas proveen energía para el metabolismo celular y en los adipocitos ocupan la mayor parte del citoplasma celular.

## Fisiología celular

### Cómo entran y salen sustancias de la célula

En todos los sistemas vivos, desde los procariontes a los eucariontes multicelulares más complejos, la regulación del intercambio de sustancias que entran o salen de la célula es realizado por la membrana celular que hace posible que la célula mantenga su integridad estructural y funcional. Esta regulación depende de interacciones entre la membrana y los materiales que pasan a través de ella.

Para que la célula pueda sobrevivir tiene que mover las sustancias para situarlas donde se necesitan. La célula debe estar en condiciones de hacer entrar y salir las moléculas y este intercambio siempre ocurre a través de la membrana plasmática, lo mismo ocurre en el interior de la célula cuando se mueven sustancias de un compartimento a otro.

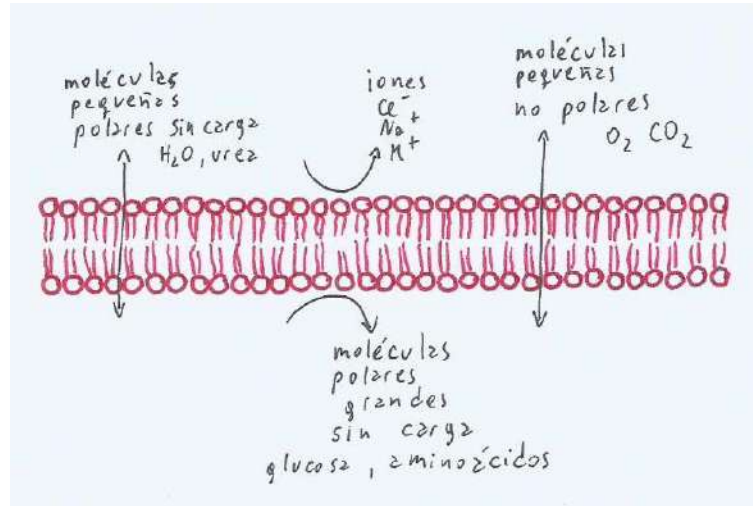
El agua y otras moléculas hidrofílicas excluyen a los lípidos y a otras moléculas hidrofóbicas. Las moléculas hidrofóbicas excluyen a las hidrofílicas. Este comportamiento de las moléculas, determinado por la presencia o ausencia de regiones polares o cargadas, es de importancia fundamental en la capacidad de las membranas celulares para regular el pasaje de materiales hacia dentro y hacia fuera de las células y de las organelas.

Las membranas celulares están formadas por una bicapa lipídica, en cuyo interior confluyen las colas hidrofóbicas de las moléculas de lípidos. Esta superficie lipídica interior es una barrera formidable para los iones y la mayoría de las moléculas hidrofílicas, pero permite el pasaje fácil de moléculas hidrofóbicas, tales como las hormonas esteroides. Así, la composición fisicoquímica de la membrana celular es la que determina qué moléculas pueden atravesarla libremente y qué moléculas no. Las moléculas no polares pequeñas atraviesan libremente una bicapa lipídica. Las moléculas polares relativamente grandes sin carga, o los pequeños iones no pueden atravesar el interior hidrofóbico.

La mayoría de las moléculas orgánicas de importancia biológica tienen grupos funcionales polares y, por lo tanto, son hidrofílicas; a diferencia del dióxido de carbono, el oxígeno y el agua, ellas no pueden atravesar libremente la barrera lipídica por difusión simple. De modo similar, los iones que son de importancia crucial en la vida de la célula no pueden difundir a través de la membrana. Aunque los iones individuales, como el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Cl}^-$ , son bastante pequeños, en solución acuosa se encuentran rodeados por moléculas de agua y, tanto el tamaño como las cargas de los agregados resultantes impiden que los iones se deslicen a través de las aberturas momentáneas que sí permiten el pasaje de las moléculas de agua. El transporte de estos agregados y de todas las moléculas hidrofílicas, excepto las muy pequeñas, depende de proteínas integrales de membrana que actúan como

transportadores, transfiriendo a las moléculas hacia uno y otro lado de la membrana sin que entren en contacto con su interior hidrofóbico.

Cada uno de los procesos pueden dividirse en pasivos y activos. Los pasivos no consumen energía por parte de la membrana celular: las partículas se mueven utilizando la energía que ya tienen. Los procesos activos requieren que la célula consuma energía metabólica.



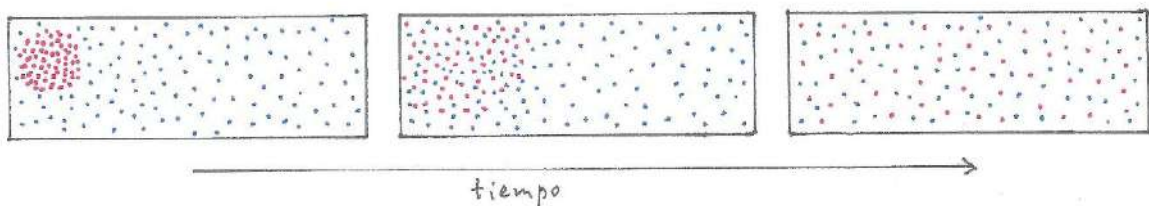
Permeabilidad de la bicapa lipídica.

## Procesos de transporte pasivo

### Difusión

En muchas ocasiones, las moléculas simplemente se diseminan o difunden a través de las membranas. El término difusión se refiere a un fenómeno natural causado por la tendencia de las pequeñas partículas a diseminarse por igual en un determinado espacio. Todas las moléculas de una solución saltan y rebotan, siguiendo breves trayectorias caóticas. Cuando chocan entre sí, tienden a diseminarse o difundirse. Durante la difusión, las moléculas van de una zona de alta concentración a otra de concentración baja. Por tanto, no es sorprendente que tiendan a moverse desde el lado de la membrana en el que la concentración es elevada, al lado donde la concentración es más baja. Otra forma de establecer este principio es afirmar que la difusión tiene lugar bajo un gradiente de concentración. Gradiente de concentración es una diferencia de concentración medible entre una zona y otra. Dado que las moléculas van desde la zona de alta concentración a la de baja, se dice que difunden a favor del gradiente de concentración.

Obsérvese que las moléculas de colorante (en rojo) difunden hacia la derecha, mientras que las de agua (en azul) difunden hacia la izquierda. El resultado final es una distribución uniforme de ambos tipos de moléculas.



Proceso de difusión al añadir una gota de colorante en un recipiente con agua. Se muestra la posición de las moléculas de agua y colorante en tres momentos distintos.

## Difusión simple

Sabemos que los gradientes de concentración impulsan la difusión. Algunas moléculas difunden directamente a través de la bicapa de fosfolípidos que forma la mayor parte de la membrana celular, como las moléculas liposolubles que pueden atravesarla con facilidad o las moléculas pequeñas hidrófobas, como el  $O_2$  y el  $CO_2$ , pueden difundirse directamente a través de la bicapa de fosfolípidos, igual que algunas partículas más pequeñas y libres de carga, como el agua y la urea. Estas moléculas simplemente se disuelven en el líquido fosfolípido, se difunden a través del mismo y pasan a la solución acuosa al otro lado de la membrana. Cuando las moléculas pasan directamente a través de la membrana, el proceso se denomina difusión simple.

Cuando se permite a las moléculas cruzar la membrana, se dice que la permean. Por tanto, una membrana concreta es permeable a una molécula determinada sólo si puede atravesarla.

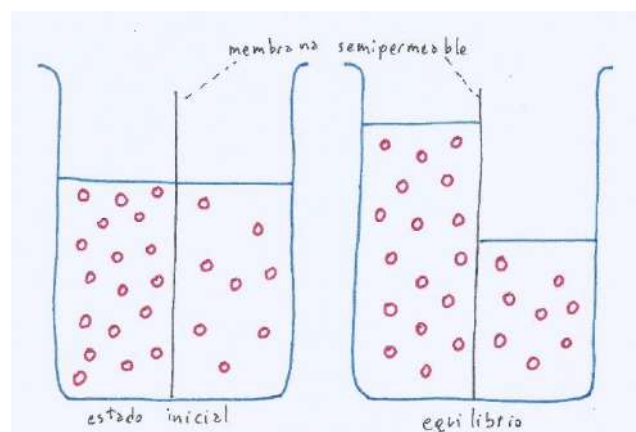
## Ósmosis

La ósmosis es la difusión del agua a través de una membrana que permite su paso, pero que impide el movimiento de la mayoría de los solutos; se dice que esta membrana es selectivamente permeable. La ósmosis da como resultado la transferencia neta de agua de una solución que tiene un potencial hídrico mayor a una solución que tiene un potencial hídrico menor.

La palabra isotónico fue acuñada para describir dos o más soluciones que tienen el mismo número de partículas disueltas por unidad de volumen y, por lo tanto, el mismo potencial hídrico. No hay movimiento neto de agua a través de una membrana que separe dos soluciones isotónicas, a menos, por supuesto, que se ejerza presión sobre uno de sus lados. En ausencia de otras fuerzas, el movimiento neto de agua en la ósmosis ocurre de una región de menor concentración de soluto (medio hipotónico) y, por lo tanto, de mayor potencial hídrico, a una región de mayor concentración de soluto (medio hipertónico) y, por consiguiente, de menor potencial hídrico.

La difusión del agua no se ve afectada por qué cosa está disuelta en ella sino solamente por cuánto se encuentra disuelto, o sea, por la concentración de partículas de soluto en el agua.

El movimiento osmótico de agua a través de la membrana celular causa algunos problemas cruciales a los sistemas vivos. Estos problemas varían según si el organismo o la célula son hipotónicos, isotónicos o hipertónicos con relación a su ambiente. Los organismos unicelulares que viven en los mares, por ejemplo, habitualmente son isotónicos respecto al medio salino en el que habitan y no presentan problemas de pérdida o ganancia de agua.



## Difusión facilitada

La difusión facilitada está dada por la existencia de varias proteínas transportadoras, como los canales y los transportadores de membrana. Estos transportadores de membrana permiten un tipo de transporte pasivo mediado que puede ser mediado por canales o por un transportador específico.



## Transporte pasivo mediado por canales

Los canales están formados por proteínas que crean canales hidrofílicos para moléculas hidrosolubles pequeñas. Estos canales de la membrana son poros a través de los cuales pueden pasar iones específicos u otras pequeñas moléculas hidrosolubles. Por ejemplo, los iones de  $\text{Na}^+$  pasan únicamente a través de los canales del sodio y los iones de  $\text{Cl}^-$  lo hacen sólo por los canales del cloro. Los canales de membrana muestran esta especificidad porque su estructura molecular impide que las moléculas con una forma o distribución de cargas inadecuadas los atraviesen. Así pues, las membranas vivas pueden ser permeables a ciertas moléculas, pero no a otras, según el tipo de canales presentes.

Dado que una membrana celular viva puede limitar de este modo la difusión de algunas moléculas, decimos que la membrana es selectivamente permeable. La estructura del canal de membrana suele permitir la difusión sólo en una dirección, de forma que la célula puede decidir si deja pasar a determinadas moléculas en cualquiera de las direcciones (según el gradiente de concentración, como siempre) o sólo en una de ellas (cuando así lo permita el gradiente de concentración).

Los canales de agua, denominados también acuaporinas, son uno de los canales de membrana, como su nombre indica, estos canales permiten que las moléculas de agua difundan a través de la membrana celular con mucha mayor rapidez que la difusión simple. Se considera que las acuaporinas son responsables de los cambios muy rápidos del volumen celular durante la ósmosis.

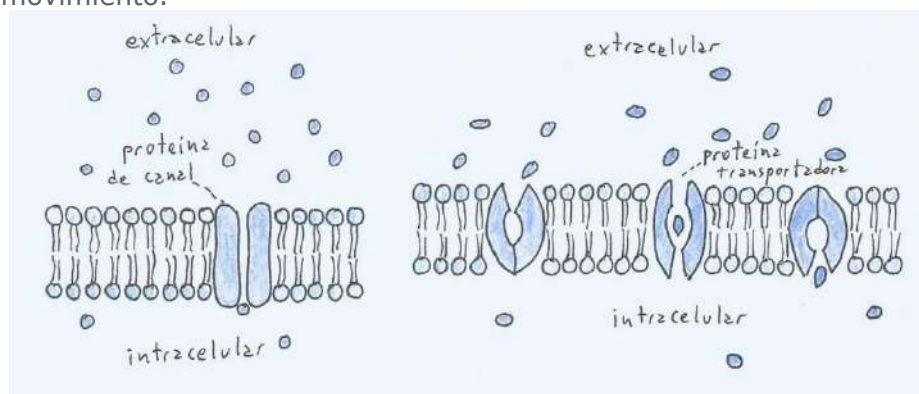
Los canales iónicos se encuentran generalmente cerrados lo que impide el pasaje de iones por el poro. Los canales pueden abrirse por un intervalo de tiempo breve como respuesta a distintos tipos de estímulos, permitiendo el pasaje de un ion específico a través de la membrana.

## Transporte pasivo mediado por transportador o carrier

Las moléculas pueden desplazarse a favor del gradiente de concentración atravesando un tipo distinto de transportador de membrana, denominado portador o transportador de membrana. Las proteínas "carrier" que se encuentran en la membrana plasmática o en la membrana que rodea a las organelas son altamente selectivas. Lo que determina qué moléculas puede transportar es la configuración de la proteína, o sea, su estructura terciaria o, en algunos casos, cuaternaria. Aunque en el curso del proceso del transporte la proteína sufre típicamente cambios en la configuración, esa alteración no es permanente. Las proteínas "carrier" son muy similares a las enzimas, que son también altamente selectivas en cuanto a las moléculas con las que interactúan y no se alteran permanentemente por esas interacciones. El modelo actual del mecanismo de transporte llevado a cabo por proteínas carrier sugiere que la proteína transportadora se une específicamente a la molécula a transportar y sufre cambios temporales en su configuración provocados, en general, por la unión misma del soluto. Son estos cambios conformacionales los que permiten la transferencia del soluto a través de la membrana.

Igual que sucede en la difusión mediada por canales y la difusión simple, en esta, mediada por transportadores, las sustancias también se desplazan a favor de un gradiente de concentración.

La difusión simple o facilitada es un proceso pasivo. En otras palabras, la energía para el transporte a través de una membrana no procede de la membrana, sino de la energía de colisión que ya poseía la molécula en movimiento.



## Procesos de transporte activo



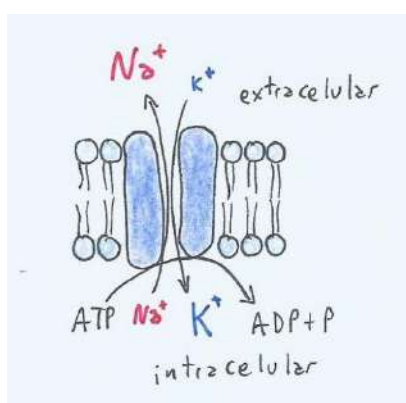
La fuerza impulsora o energía de los procesos de transporte activo procede de la propia célula. Estas células tienen que utilizar la energía del metabolismo para forzar a las partículas a atravesar una membrana, cosa que de otro modo no podrían hacer.

En el transporte activo, las moléculas o iones se mueven contra el gradiente electroquímico y requiere siempre un gasto de energía, que en algunos casos es liberada de la molécula de ATP y en otros casos proviene de la energía potencial eléctrica asociada con el gradiente de concentración de un ion a través de la membrana.

## Transporte mediante bombas

Los transportadores de membrana denominados bombas de membrana realizan un proceso de transporte, en el cual la energía celular se emplea para mover las moléculas de una zona de baja concentración a otra de concentración más alta. Una sustancia transportada activamente se mueve contra su gradiente de concentración. Es exactamente lo contrario de la difusión, en la que la sustancia es transportada hacia un gradiente más bajo. El transporte activo es un proceso muy importante. Permite a las células llevar ciertos iones u otras partículas hidrosolubles a zonas determinadas. Por ejemplo, los transportes activos del calcio, o bombas de calcio, de la membrana de las células musculares permiten que la célula fuerce a casi todos los iones intracelulares  $\text{Ca}^{2+}$  a entrar en compartimentos especiales o a salir totalmente de la célula. Esto es importante, ya que una célula muscular no puede operar adecuadamente a menos que la concentración intracelular de  $\text{Ca}^{2+}$  se mantenga baja durante el reposo. Otras células utilizan transportes activos, o bombas, con fines similares, es decir generar un gradiente de concentración de un determinado soluto.

Un tipo de bomba de transporte activo, la bomba de sodio-potasio, opera en la membrana plasmática de todas las células humanas y es fundamental para la adecuada supervivencia de la célula. Como su nombre indica, la bomba de sodio-potasio transporta activamente tanto iones de  $\text{Na}^+$  como de  $\text{K}^+$ , pero en direcciones opuestas. Extrae iones de sodio de la célula e introduce en ella iones de potasio. De este modo, mantiene en el líquido intracelular una concentración de sodio más baja que en el líquido extracelular que la rodea. Al mismo tiempo, esta bomba mantiene una concentración de potasio más alta en el líquido intracelular que en el extracelular. Ambos iones se unen al mismo portador, una molécula denominada sodio-potasio adenosina trifosfatasa ( $\text{Na-K ATPasa}$ ), tres iones  $\text{Na}^+$  se unen a los puntos de fijación del sodio en la cara interna del portador. Al mismo tiempo, una molécula de ATP que contiene energía producida por las mitocondrias celulares se une al transportador. El ATP se disocia, transfiriendo su energía almacenada al transportador. Éste cambia de forma, libera los tres  $\text{Na}^+$  en el exterior de la célula y atrae dos  $\text{K}^+$  a los puntos de unión del potasio, es entonces cuando el transportador recupera su forma original, liberando los dos  $\text{K}^+$  y el resto de la molécula de ATP al interior de la célula.



Bomba sodio-potasio

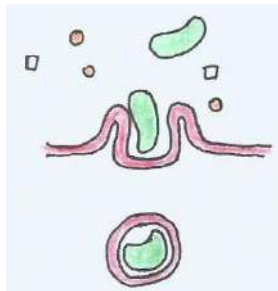
## Transporte mediado por vesículas

El cruce a través de la membrana celular, con o sin ayuda de proteínas de transporte, es uno de los principales modos en que las sustancias entran y salen de la célula, pero no es el único. Hay otro tipo de proceso de transporte que involucra vesículas o vacuolas que se forman a partir de la membrana celular o se fusionan con ella.

Por ejemplo, las vesículas se mueven desde los complejos de Golgi a la superficie de la célula. Cuando una vesícula alcanza la superficie celular, su membrana se fusiona con la membrana citoplasmática y expulsa su contenido al exterior. Este proceso es conocido como exocitosis. El transporte por medio de vesículas o vacuolas también puede operar en sentido contrario. En la endocitosis, el material que se incorporará a la célula induce una invaginación de la membrana, produciéndose una vesícula que encierra a la sustancia. Esta vesícula es liberada en el citoplasma. Se conocen tres formas distintas de endocitosis: la fagocitosis ("células comiendo"), la pinocitosis ("células bebiendo") y la endocitosis mediada por receptor; todas ellas requieren energía.

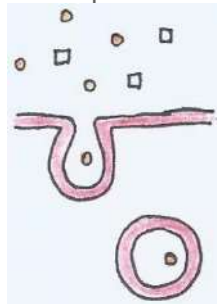
## Fagocitosis

En la fagocitosis el contacto entre la membrana plasmática y una partícula sólida induce la formación de prolongaciones celulares que envuelven la partícula, englobándola en una vacuola. Luego, uno o varios lisosomas se fusionan con la vacuola y vacían sus enzimas hidrolíticas en el interior de la vacuola. En la fagocitosis, la sustancia ingerida queda en una gran vesícula endocítica llamada fagosoma. El fagosoma frecuentemente se fusiona a un lisosoma que vacía en él sus enzimas, digiriendo o destruyendo los contenidos.



## Pinocitosis

En la pinocitosis, la membrana celular se invagina, formando una vesícula alrededor del líquido del medio externo que será incorporado a la célula. La pinocitosis es un proceso básicamente idéntico a la fagocitosis, pero la célula incorpora macromoléculas en suspensión. Sin embargo, a diferencia de la fagocitosis, que es un proceso que únicamente se realiza en células especializadas (células fagocíticas), casi todas las células eucariotas, tanto las de organismos unicelulares como de animales multicelulares, forman continuamente vesículas pinocíticas a partir de su membrana celular.

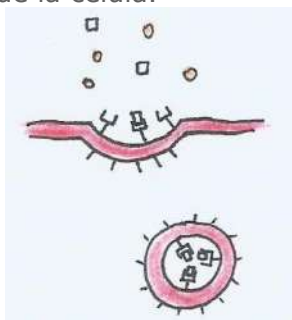


## Endocitosis mediada por receptores

En la endocitosis mediada por receptor, las sustancias que serán transportadas al interior de la célula deben primero acoplarse a las moléculas receptoras específicas. Los receptores se encuentran concentrados en zonas particulares de la membrana (depresiones) o se agrupan después de haberse unido a las moléculas que serán transportadas. Cuando las depresiones están llenas de receptores con sus moléculas específicas unidas, se ahuecan y se cierran formando una vesícula.

En la endocitosis mediada por receptor, determinadas proteínas de membrana sirven como receptores de moléculas o macromoléculas específicas que serán transportadas dentro de la célula. Por ejemplo, el colesterol entra en las células animales por este mecanismo. Existen receptores

específicos de la superficie celular que interactúan con determinadas moléculas. La unión a partículas específicas provoca la formación de una vesícula que transporta a las moléculas de colesterol al interior de la célula. Algunos receptores, cuando están desocupados o libres, se encuentran dispersos al azar sobre la superficie de la membrana. Esto ocurre, por ejemplo, con los receptores para la hormona insulina. Cuando las moléculas que serán transportadas al interior de la célula se unen a los receptores, éstos se juntan. Posteriormente, se forma una vesícula y los receptores cargados de hormona son transportados al interior de la célula.



Otros receptores difunden por la membrana y se agrupan en áreas específicas aun antes de que se les unan moléculas. En las áreas donde se localizan receptores específicos o en las que se juntan luego de la unión con moléculas específicas, la cara interna, o citoplasmática, de la membrana celular presenta una proteína periférica de membrana, llamada clatrina. Estas áreas, que se ven ligeramente dentadas, se conocen como depresiones recubiertas.

El reclutamiento de los receptores a las depresiones recubiertas depende de la porción citoplasmática del receptor y en algunos casos, como el del receptor de insulina, de que la molécula a transportar se una a la parte externa del receptor.

La clatrina induce la curvatura de la membrana y la formación de las vesículas. Las vesículas que se forman a partir de estas depresiones o vesículas recubiertas, y que contienen a las moléculas de receptor y a sus "pasajeros" adquieren, así, una cubierta externa de clatrina.

La cubierta de clatrina es transitoria y se pierde inmediatamente después de formarse la vesícula. En otros casos, ni el receptor ni su carga son degradados y la vesícula endocítica es transportada hacia otra región de la membrana plasmática, descargando su contenido nuevamente hacia el exterior de la célula. Este proceso se conoce como transcitosis y permite transferir macromoléculas desde un espacio extracelular a otro, como en el caso de la secreción de anticuerpos desde la sangre hacia el fluido de la leche materna en los mamíferos.

## Comunicación célula-célula

Las células individuales no se encuentran aisladas o sólo rodeadas por un medio acuoso. En muchos casos, como en los organismos multicelulares, las células están organizadas en tejidos, grupos de células especializadas con funciones comunes.

Los tejidos, a su vez, están organizados en órganos, como el corazón, el cerebro o el riñón, cada uno de los cuales, semejante a una organela subcelular, tiene un diseño que se ajusta a su función específica. En los organismos multicelulares es esencial que las células individuales se comuniquen entre sí, de modo que puedan "colaborar" para crear un órgano o un tejido que funcione armoniosamente.

Las comunicaciones entre células se cumplen por medio de señales químicas, o sea, por medio de sustancias transportadas hacia afuera de una célula y que se trasladan a otra célula. Así, los impulsos nerviosos se transmiten de neurona a neurona, o de neurona a músculo o glándula, a través de moléculas llamadas neurotransmisores. Las células en el cuerpo de una planta o de un animal liberan hormonas que se trasladan a cierta distancia y afectan a otras células del mismo organismo. En el curso del desarrollo, las células embrionarias ejercen influencia sobre la diferenciación de las células vecinas en órganos y tejidos.

Cuando estas sustancias alcanzan la membrana de la célula que es su objetivo (célula blanco), pueden ser transportadas hacia su interior por uno de los procesos que hemos considerado, o bien pueden acoplarse a receptores específicos que se encuentran en la superficie de la membrana. Al unirse el mensajero químico al receptor, se ponen en marcha reacciones químicas dentro de la célula, transmitiéndose así el mensaje a una serie de emisarios intracelulares.

En los tejidos animales, las estructuras conocidas como uniones nexus (gap junctions) permiten el pasaje de sustancias entre las células. Estas uniones aparecen como canales muy pequeños rodeados por una formación ordenada de proteínas. Estos canales, a diferencia de los canales iónicos, son poros poco selectivos, que permiten el pasaje libre de cualquier molécula pequeña por debajo de un determinado tamaño. Los experimentos con moléculas marcadas radiactivamente han mostrado que, a través de estos canales, pasan pequeñas moléculas mensajeras y se transmiten señales eléctricas en forma de iones. Por ejemplo, las contracciones de las células musculares en el corazón están sincronizadas por el flujo de iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) a través de uniones comunicantes.

El transporte de materiales entre células vecinas a través de los canales de plasmodesmos o de uniones nexus, o hacia dentro y hacia fuera de las células a través de proteínas integrales de membrana, y por medio de endocitosis y exocitosis, parece corresponder, superficialmente, a tres procesos bastante diferentes. Sin embargo, estos procesos son fundamentalmente similares por el hecho de que los tres dependen de la estructura tridimensional precisa de una gran variedad de moléculas de proteínas específicas. Estas moléculas proteicas, no sólo forman canales a través de los cuales puede ocurrir el transporte, sino que además dotan a la membrana celular de la capacidad para "reconocer" moléculas particulares. Esta capacidad es el resultado de miles de millones de años de un proceso de evolución, que comenzó, hasta donde podemos vislumbrar, con la formación de una frágil película alrededor de unas pocas moléculas orgánicas. Esta película separó las moléculas de su ambiente externo y les permitió mantener el tipo particular de organización que reconocemos como vida.

## Metabolismo celular

La vida sobre la Tierra, depende del flujo de energía procedente de las reacciones termonucleares que tienen lugar en el corazón del Sol. Sólo una pequeña fracción de la energía solar que alcanza a la Tierra se transforma, por medio de una serie de procesos llevados a cabo por las células de las plantas y otros organismos fotosintéticos, en la energía que impulsa todos los procesos vitales. Los sistemas vivos cambian una forma de energía en otra, transformando la energía radiante del Sol en la energía química y mecánica utilizada por todo ser vivo. Este flujo de energía es la esencia de la vida. Existe una serie de principios generales que gobiernan las transformaciones energéticas.

Hay dos procesos principales y complementarios por los que la energía fluye a través de la biosfera: la glucólisis y la respiración son procesos de degradación de sustancias por los que se obtiene energía. La fotosíntesis es un proceso por el cual la energía lumínica se convierte en energía química y el carbono se fija en compuestos orgánicos.

## El flujo de energía

Los sistemas vivos convierten la energía de una forma en otra a medida que cumplen funciones esenciales de mantenimiento, crecimiento y reproducción. En estas conversiones energéticas, como en todas las demás, parte de la energía útil se pierde en el ambiente en cada paso.

Las leyes de la termodinámica gobiernan las transformaciones de energía. La primera ley establece que la energía puede convertirse de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse. La segunda ley establece que, en el curso de las conversiones energéticas, el potencial termodinámico -o energía potencial termodinámica- de un sistema en el estado final siempre será menor que el potencial termodinámico del mismo sistema en el estado inicial. Otra manera de enunciar la segunda ley de la termodinámica es que todos los procesos naturales tienden a ocurrir en una dirección tal que la entropía (la medida del "grado de desorden" o de "aleatoriedad") del Universo se incrementa.

Para mantener la organización de la cual depende la vida, los sistemas vivos deben tener un suministro constante de energía que les permita superar la tendencia hacia el desorden creciente. El Sol es la fuente original de esta energía.

Las transformaciones energéticas en las células vivas implican el movimiento de electrones de un nivel energético a otro y, frecuentemente, de un átomo o molécula a otro. Las reacciones de oxidación-reducción implican movimiento de electrones de un átomo a otro. Un átomo o molécula que pierde electrones se oxida; el que los gana se reduce.

El total de las reacciones químicas que ocurren en las células constituyen el metabolismo. Las reacciones metabólicas ocurren en series, llamadas vías, cada una de las cuales sirve a una función determinada en la célula. Cada paso en una vía es controlado por una enzima específica. Las reacciones escalonadas de las vías enzimáticas les permiten a las células llevar a cabo sus actividades químicas con una notable eficiencia, en lo que concierne a la energía y a los materiales.

Las enzimas funcionan como catalizadores biológicos. Así, disminuyen la energía de activación e incrementan enormemente la velocidad a la que se producen las reacciones químicas. Las reacciones catalizadas por enzimas están bajo un estricto control celular. Los principales factores que influyen sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas son las concentraciones de enzima y de sustrato y la disponibilidad de los cofactores requeridos. Muchas enzimas son sintetizadas por las células o activadas sólo cuando son necesarias.

El ATP es el principal transportador de energía en la mayoría de las reacciones que tienen lugar en los sistemas vivos. Las células son capaces de llevar a cabo procesos y reacciones endergónicas (tales como reacciones biosintéticas, transporte activo o el movimiento de microtúbulos) acoplándolas a reacciones exergónicas que suministran un exceso de energía. Estas reacciones acopladas generalmente involucran a compuestos trifosfato como el ATP u otros. Las familias de enzimas denominadas quinasas y fosforilasas adicionan o remueven un grupo fosfato a otra molécula respectivamente. La transferencia de grupos fosfato o fosforilación cumple un papel importante en la regulación de muchas reacciones químicas de la célula.

## Reacciones de oxidación-reducción

Los electrones poseen diferentes cantidades de energía potencial dependiendo de su distancia al núcleo del átomo y de la atracción ejercida por el núcleo sobre ellos. Un ingreso de energía lanzará a un electrón a un nivel energético más alto, pero si no se añade energía, el electrón permanecerá en el nivel energético más bajo que encuentre disponible.

Las reacciones químicas son, esencialmente, transformaciones de energía en virtud de las cuales la energía almacenada en los enlaces químicos se transfiere a otros enlaces químicos recién formados. En estas transferencias, los electrones se desplazan de un nivel de energía a otro. En muchas reacciones, los electrones pasan de un átomo o molécula a otro. Estas reacciones, que son de gran importancia en los sistemas vivos, se conocen como reacciones de oxidación-reducción o redox.

La pérdida de un electrón se denomina oxidación y el átomo o molécula que pierde el electrón se dice que se ha oxidado. La razón de que la pérdida de electrones se conozca como oxidación es que el oxígeno, que atrae muy fuertemente a los electrones, es el que por lo general actúa como aceptor de electrones.

La reducción es, por el contrario, la ganancia de un electrón. La oxidación y la reducción siempre ocurren simultáneamente, porque el electrón que pierde el átomo oxidado es aceptado por otro átomo que se reduce en el proceso.

En algunas reacciones de oxidación-reducción, como la oxidación del sodio y la reducción del cloro, se transfiere únicamente un electrón de un átomo a otro. Estas simples reacciones son típicas de los elementos o de las moléculas inorgánicas. En otras reacciones de oxidación-reducción, como esta oxidación parcial del metano ( $\text{CH}_4$ ), electrones y protones van juntos. En estas reacciones, muy comunes entre moléculas orgánicas, la oxidación es la pérdida de átomos de hidrógeno y la reducción

es la ganancia de átomos de hidrógeno. Cuando un átomo de oxígeno gana dos átomos de hidrógeno, evidentemente el producto es una molécula de agua.

En los sistemas vivos, las reacciones que capturan energía (fotosíntesis) y las reacciones que liberan energía (glucólisis y respiración), son reacciones de oxidación-reducción. La oxidación completa de un mol de glucosa libera 686 kilocalorías de energía libre; de modo inverso, la reducción del dióxido de carbono para formar un mol de glucosa almacena 686 kilocalorías de energía libre en los enlaces químicos de la glucosa. Si esta energía fuera liberada de una sola vez, la mayor parte se disiparía como calor. Esto no solamente no sería útil para la célula, sino que la alta temperatura resultante sería letal. Sin embargo, la vida ha evolucionado adquiriendo mecanismos que regulan la marcha de estas reacciones químicas, de modo tal que la energía se almacena en enlaces químicos particulares de los que puede ser liberada en pequeñas cantidades cuando la célula lo necesite. Estos mecanismos, permiten un aprovechamiento eficaz de la energía sin alterar el delicado equilibrio que caracteriza a los sistemas biológicos. Implican generalmente secuencias de reacciones, algunas de las cuales son reacciones de oxidación-reducción. Aunque cada reacción en la secuencia representa solamente un pequeño cambio en la energía libre, el cambio global de energía libre para la secuencia puede ser considerable.

## El metabolismo

En cualquier sistema vivo el intercambio de energía ocurre a través de miles de reacciones químicas diferentes, muchas de las cuales se producen simultáneamente. La suma de todas estas reacciones se conoce como metabolismo (del griego *metabole*, que significa "cambio"). Si nos limitáramos meramente a enumerar la lista de las reacciones químicas individuales, sería difícil entender el flujo de energía a través de una célula. Afortunadamente, hay algunos principios que nos guían por el laberinto del metabolismo celular. Primero, virtualmente todas las reacciones químicas que tienen lugar en una célula involucran enzimas, grandes moléculas de proteína que desempeñan papeles muy específicos. Segundo, se pueden agrupar estas reacciones en una serie ordenada de pasos, que comúnmente se llama vía; una vía puede tener una docena o más de reacciones o pasos secuenciales. Cada vía sirve a una función en la vida global de la célula o del organismo. Más aun, ciertas vías tienen muchos pasos en común, por ejemplo, las que están vinculadas con la síntesis de los aminoácidos o de las distintas bases nitrogenadas. Algunas vías convergen; por ejemplo, la vía por la cual se degradan las grasas para producir energía conduce a la vía por la cual se degrada la glucosa para producir energía.

El total de las reacciones químicas involucradas en la síntesis se llama anabolismo. Las células también están constantemente involucradas en la ruptura de moléculas de mayor tamaño; estas actividades se conocen colectivamente como catabolismo.

El catabolismo cumple con dos propósitos:

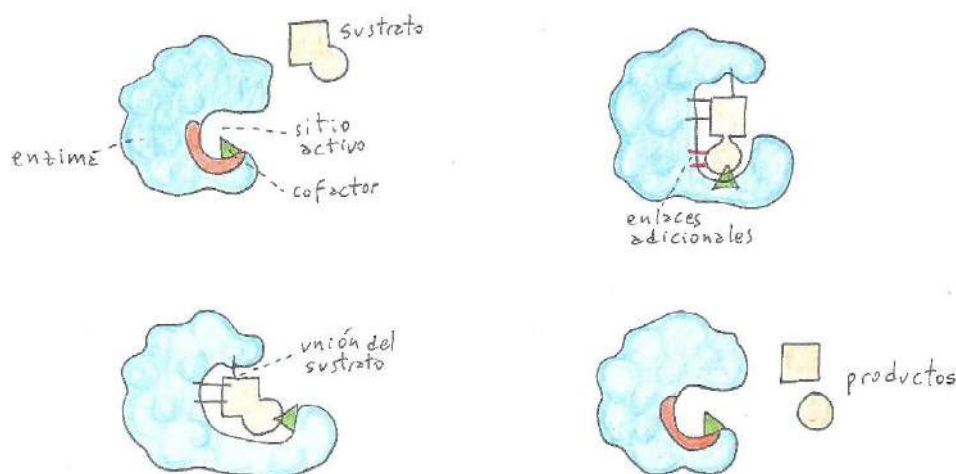
1. Liberar la energía que será usada por el anabolismo y otros trabajos de la célula y
2. Suministrar la materia prima que será usada en los procesos anabólicos.

La presencia de las enzimas es fundamental para que las reacciones químicas puedan ocurrir dentro de una célula viva.

## Las enzimas

Todas las moléculas para reaccionar deben poseer suficiente energía, la energía de activación, a fin de chocar con suficiente fuerza para superar su repulsión mutua y debilitar los enlaces químicos existentes. Las enzimas actúan como catalizadores; disminuyen la energía de activación incrementando enormemente la velocidad a la que se producen las reacciones químicas en las células. Una reacción no catalizada requiere más energía de activación que una catalizada, como es una reacción enzimática. La menor energía de activación en presencia del catalizador frecuentemente está dentro del intervalo de energía que poseen las moléculas, de tal modo que la reacción puede ocurrir rápidamente, sin adición o con poca adición de energía. Las enzimas podemos decir que son macromoléculas biológicas capaces de acelerar una reacción química sin formar parte de los productos finales y tampoco se consumen en el proceso.

El modo de plegamiento asegura que algunos aminoácidos formen un sitio activo. El sitio activo es un lugar definido de la enzima donde se une el sustrato y se cumple la acción catalítica. Las moléculas reactivas, conocidas como sustrato, se ajustan con precisión al sitio activo. Aunque la conformación de una enzima puede cambiar temporalmente en el curso de una reacción, no se altera permanentemente.



*Representación de la acción enzimática. La enzima contiene un sitio activo donde se une el sustrato, este sitio puede contener cofactores. El sustrato va a formar enlaces con aminoácidos del sitio activo que induce cambios conformacionales en este último. Los grupos funcionales y cofactores en el sitio activo participan en formar el complejo del estado de transición que es estabilizado por enlaces adicionales con la enzima. Por último los productos de la reacción se disocian y la enzima regresa a su conformación original.*

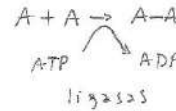
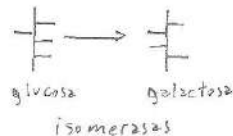
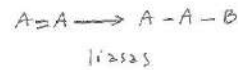
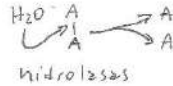
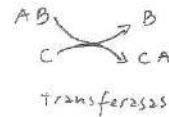
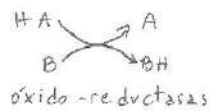
En cuanto a la forma de denominarlas existe una nomenclatura tradicional que las clasifica de la siguiente manera:

- Agregando el sufijo "asa" sobre el sustrato que actúan. Ej.: ureasa cataliza reacciones sobre la urea.
- Según el tipo de reacción catalizada. Ej.: deshidrogenasa cataliza la sustracción de hidrógeno del sustrato.
- Con nombres arbitrarios: Ej.: ptialina, enzima presente en la saliva que cataliza la digestión del almidón

La Unión internacional de Bioquímica y Biología Molecular las clasifica según el tipo de reacciones que catalizan:

- Oxidorreductasas: Catalizan reacciones de óxido reducción
- Transferasas: Catalizan la transferencia de un grupo de átomos desde un sustrato considerado donante, a otro compuesto aceptor.
- Hidrolasas: Catalizan la ruptura de enlaces C-O, C-N, C-S y O-P por adición de agua.
- Liasas: Catalizan la ruptura de uniones C-C, C-S y C-N de la molécula del sustrato.
- Isomerasas: Catalizan la interconversión de isómeros de cualquier tipo.
- Ligasas: Catalizan la unión de 2 moléculas acopladas a la hidrólisis de ATP





#### Representación de las diferentes reacciones que catalizan las enzimas

Muchas enzimas requieren de cofactores, que pueden ser iones simples, tales como  $Mg^{2+}$  o  $Ca^{2+}$ , o moléculas orgánicas no proteicas conocidas como coenzimas. Muchas coenzimas, como el NAD, funcionan como transportadores de electrones, y diferentes coenzimas mantienen a los electrones en niveles energéticos ligeramente distintos. Muchas vitaminas son parte de coenzimas.

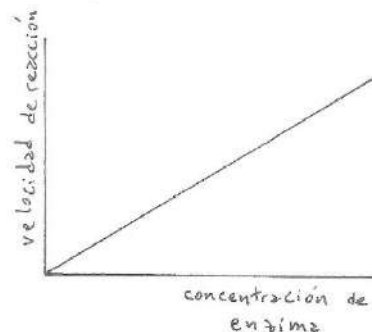
Las enzimas también se pueden sintetizar como zimógenos, proenzimas o preenzimas, que son precursores inactivos que se activan por hidrólisis cambiando la conformación de la molécula y tornándola activa. Un ejemplo de éstas son las enzimas pancreáticas que se secretan como proenzimas y se activan en la luz intestinal para la digestión de nutrientes.

Durante el curso de la reacción, la enzima se une efectivamente al o a los sustrato/s, formando un complejo transitorio y la enzima aparece inalterada al final de la catálisis.

Cantidades muy pequeñas de enzima aceleran enormemente la velocidad de una reacción ya que la molécula es reutilizada muchísimas veces.

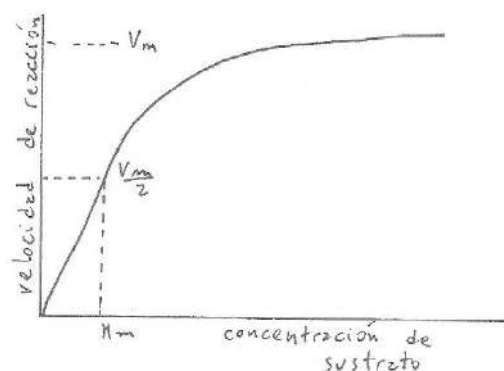
La velocidad de las reacciones enzimáticas está afectada por diferentes factores que se enumeran a continuación

- Concentración de la enzima, la concentración de la enzima es directamente proporcional a la velocidad de la reacción que cataliza.



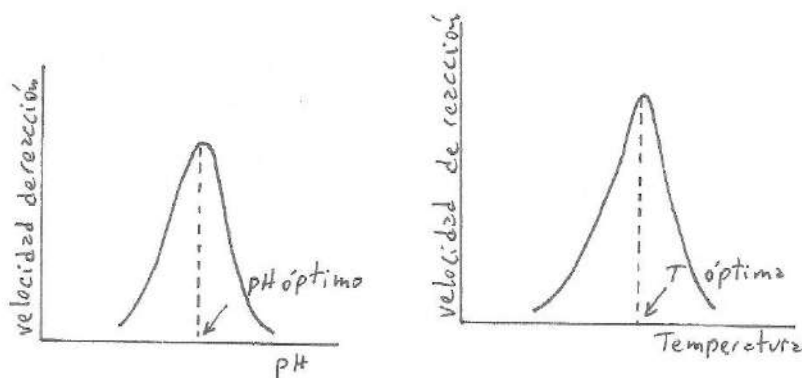
- Concentración del sustrato

Al comienzo existe una proporcionalidad entre la velocidad de reacción y la concentración de sustrato. A niveles mayores de sustrato, los incrementos de velocidad son cada vez menores y tiende a alcanzar una meseta o velocidad máxima, que no aumenta por más que la concentración de sustrato se eleve. La curva que se describe es hiperbólica.

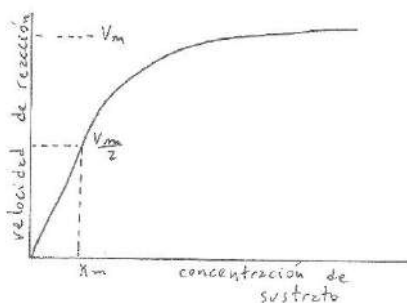


- pH y temperatura

La velocidad de las reacciones enzimáticas también se ve influida por la temperatura y por el pH, que afectan la atracción entre los aminoácidos de la molécula proteica y también entre el sitio activo y el sustrato. Cada enzima tiene un pH y una temperatura óptima para actuar. Las variaciones de pH y temperatura producen cambios en las estructuras secundaria, terciaria y/o cuaternaria de la enzima alterando la actividad de la misma.



- Constante de Michaelis ( $K_m$ ): corresponde a la concentración de sustrato a la cual, la velocidad de reacción alcanza un valor igual a la mitad de la máxima. En la mayoría de enzimas el valor de  $K_m$  guarda relación inversa con la afinidad de la enzima por el sustrato.



Existen enzimas constitutivas e inducibles, las enzimas constitutivas son enzimas presentes en cantidades constantes en la célula y las enzimas inducibles son sintetizadas como respuesta a la presencia de ciertos sustratos.

Hay procesos enzimáticos en cascada en los que participan zimógenos que se activan sucesivamente uno a otro en cadena de reacciones. Ej: Cascada de coagulación.

Las isoenzimas son diferentes formas moleculares de una misma enzima (difieren en la secuencia de aminoácidos) pero catalizan la misma reacción química y se pueden encontrar en diferentes tejidos. Ejemplo: Hexoquinasa y Glucoquinasa.

Las enzimas se pueden cuantificar en el laboratorio clínico y se utilizan con fines diagnósticos, se pueden medir en diferentes líquidos biológicos como el plasma, orina, líquido cefalorraquídeo.

Una forma precisa de control enzimático es la interacción alostérica. La interacción alostérica ocurre cuando una molécula distinta del sustrato se combina con una enzima en un sitio diferente del sitio activo y, al hacer esto, altera la conformación del sitio activo tornándolo funcional o no funcional. La inhibición por retroalimentación ocurre cuando el producto de una reacción enzimática, ya sea al final o en una bifurcación de una vía determinada, actúa como efector alostérico, inhibiendo temporalmente la actividad de una enzima, en un paso anterior de la vía. De esta manera, el efector alostérico detiene temporalmente la serie de reacciones químicas.

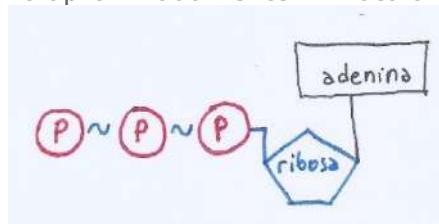
Las enzimas también pueden estar reguladas por inhibición competitiva, en la cual una molécula, semejante al sustrato normal, compite por el sitio activo. La inhibición competitiva puede ser revertida aumentando las concentraciones de sustrato. Los inhibidores no competitivos se unen en otro sitio de la molécula, alterando la estructura terciaria, de modo que la enzima ya no puede funcionar. La inhibición no competitiva habitualmente es reversible, pero no por el incremento en la concentración de sustrato. Los inhibidores irreversibles se unen permanentemente al sitio activo o desorganizan irreparablemente la estructura terciaria.

Cuando las enzimas pierden su estructura tridimensional característica, se dice que están desnaturalizadas.

## El ATP

Todas las actividades biosintéticas de la célula, muchos de sus procesos de transporte y una diversidad de otras actividades requieren de energía. Una gran proporción de esta energía es suministrada por una sola sustancia: el adenosín trifosfato o ATP. La glucosa y otros carbohidratos son formas de almacenamiento de energía y también formas en las que se transfiere energía de célula a célula y de organismo a organismo.

La molécula de ATP está formada por la base nitrogenada adenina, el azúcar de cinco carbonos ribosa y tres grupos fosfato. Los tres grupos fosfato están unidos por dos enlaces covalentes que se rompen con facilidad, produciendo cada uno aproximadamente 7 kilocalorías de energía por mol.



En los sistemas biológicos, las reacciones endergónicas, como las de biosíntesis, se producen gracias a la energía liberada en las reacciones exergónicas con las que están acopladas. En la mayoría de las reacciones acopladas, el ATP es el intermediario que conduce la energía de una reacción a otra. La estructura interna de la molécula de ATP la hace inusualmente adecuada para este papel en los sistemas vivos. En el laboratorio, la energía se libera de la molécula de ATP cuando se elimina el tercer fosfato por hidrólisis dejando ADP (adenosín difosfato) y un fosfato:



En el curso de esta reacción, se liberan unas 7 kilocalorías de energía por mol de ATP. La eliminación del segundo fosfato produce AMP (adenosín monofosfato) y libera una cantidad equivalente de energía:



Los enlaces covalentes que unen a estos dos fosfatos al resto de la molécula se simbolizan con el signo ~, y durante muchos años se llamaron enlaces de "alta energía", término incorrecto y confuso. Estos enlaces no son fuertes, como los enlaces covalentes entre el carbono y el hidrógeno, que tienen una energía de enlace de 98,8 kcal/mol. Al contrario, son enlaces que se rompen fácilmente y liberan, como vimos, una cantidad de energía, aproximadamente 7 kcal/mol, adecuada para impulsar muchas de las reacciones endergónicas esenciales de la célula. Además, la energía liberada no surge totalmente del movimiento de los electrones de enlace hacia niveles energéticos más bajos. Es también el resultado de un reordenamiento de los electrones en otros orbitales de las moléculas de

ADP o de ATP. Cada uno de los grupos fosfato lleva cargas negativas y, por eso, tienden a repelerse. Cuando se elimina un grupo fosfato, la molécula sufre un cambio en la configuración electrónica, lo cual da como resultado una estructura con menos energía.

## Glucólisis y respiración celular

La oxidación de la glucosa es fuente principal de energía en la mayoría de las células. Cuando la glucosa se degrada en una serie de pequeños pasos por medio de enzimas, una proporción significativa de la energía contenida en la molécula vuelve a empaquetarse en los enlaces fosfato de las moléculas de ATP.

La primera fase en la degradación de la glucosa es la glucólisis que se efectúa en el citoplasma de la célula. La segunda fase es la respiración aeróbica, que requiere oxígeno y en las células eucariotas tiene lugar en las mitocondrias. La respiración comprende el ciclo de Krebs y el transporte terminal de electrones acoplado al proceso de fosforilación oxidativa. Todos estos procesos están íntimamente relacionados.

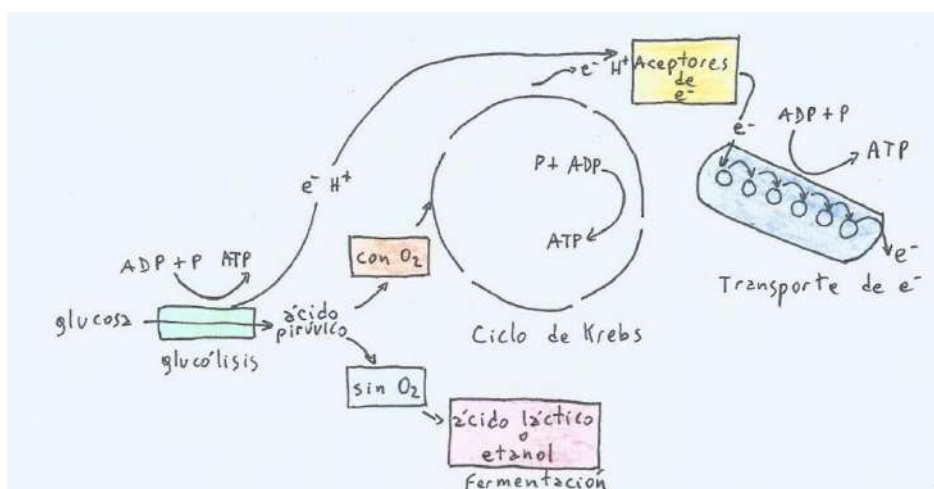
Otras moléculas, que incluyen a las grasas, los polisacáridos y las proteínas, pueden ser también degradadas a compuestos que pueden ingresar en las vías centrales de glucólisis y ciclo de Krebs, en diferentes pasos.

## Oxidación de la glucosa

La oxidación consiste en la pérdida de un electrón y la reducción es la ganancia de un electrón. Dado que en las reacciones de óxido-reducción espontáneas, los electrones van de niveles de energía mayores a niveles de energía menores, cuando una molécula se oxida, habitualmente libera energía. En la oxidación de la glucosa, los enlaces carbono-carbono (C-C), carbono-hidrógeno (C-H) y oxígeno-oxígeno (O-O) se cambian por enlaces carbono-oxígeno (C-O) e hidrógeno-oxígeno (H-O), a medida que los átomos de oxígeno atraen y acaparan electrones. La ecuación resumida de este proceso es:



En los sistemas vivos aeróbicos, la oxidación de la glucosa se desarrolla en dos etapas principales, la primera es la glucólisis y la segunda es la respiración, que a su vez se divide en dos etapas, el ciclo de Krebs y el transporte de electrones. La glucólisis ocurre en el citoplasma y, en los organismos eucariotas, las dos etapas de la respiración ocurren en la mitocondria.



Esquema global de la oxidación de la glucosa

Durante la glucólisis la molécula de glucosa se divide en dos moléculas de ácido pirúvico. En presencia de oxígeno, el ácido pirúvico entra en el ciclo de Krebs donde se sintetiza más ATP y se transfieren más electrones y protones a las coenzimas. Estas coenzimas aceptoras de electrones transfieren su carga a la cadena transportadora de electrones a lo largo de la cual, paso a paso, los electrones caen a niveles inferiores de energía. A medida que esto ocurre, se fabrica mucho más ATP. Al final de la cadena transportadora, los electrones se reúnen con los protones y se combinan con el oxígeno, formándose agua. En ausencia de oxígeno,

el ácido pirúvico puede convertirse en ácido láctico o etanol. Este proceso, llamado fermentación, no produce ATP, pero regenera las moléculas de coenzima aceptoras de electrones, necesarias para que la glucólisis continúe.

## Glucólisis

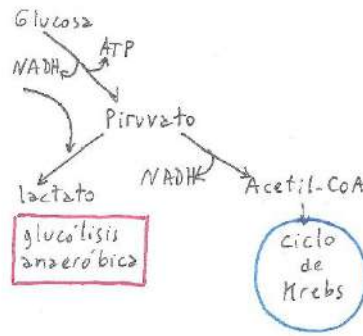
La serie de reacciones que constituyen la glucólisis se lleva a cabo virtualmente en todas las células vivas, desde las células procariotas hasta las células eucariotas. La glucólisis es un proceso en el cual una molécula de glucosa de 6 carbonos se escinde en dos moléculas de 3 carbonos de ácido pirúvico. Este proceso da como resultado un rendimiento neto de dos moléculas de ATP (a partir de ADP y fosfato inorgánico) y dos moléculas de NADH (a partir de NAD<sup>+</sup>).

La glucólisis comienza con una molécula de glucosa. En este proceso, primero se invierte energía por transferencia de un grupo fosfato desde una molécula de ATP, una por cada paso, a la molécula de azúcar. La molécula de 6 carbonos luego se escinde y, de allí en adelante, la secuencia produce energía. En cierto momento se reduce una molécula de NAD<sup>+</sup> a NADH y H<sup>+</sup> almacenándose parte de la energía producida por la oxidación del gliceraldehído fosfato. En los pasos finales las moléculas de ADP toman energía del sistema, fosforilándose a ATP.

Resumiendo: para iniciar la secuencia glucolítica es necesaria la energía de los enlaces fosfato de dos moléculas de ATP. Posteriormente se producen dos moléculas de NADH a partir de dos de NAD<sup>+</sup> y cuatro de ATP a partir de cuatro de ADP:



De esta forma, una molécula de glucosa se convierte en dos moléculas de ácido pirúvico y parte de la energía contenida en una molécula de glucosa se conserva en los enlaces fosfato de dos moléculas de ATP y en los electrones de dos moléculas de NADH, es decir que la ganancia neta, es dos moléculas de ATP y dos moléculas de NADH por molécula de glucosa. Las dos moléculas de ácido pirúvico contienen todavía una gran parte de la energía que se encontraba almacenada en la molécula de glucosa original. El ácido pirúvico puede seguir una de varias vías. Una vía es aeróbica (utiliza O<sub>2</sub>) y las otras son anaeróbicas (sin O<sub>2</sub>). Si no hay oxígeno en el medio, el ácido pirúvico puede convertirse en ácido láctico. Cuando hay oxígeno el proceso se denomina respiración celular.



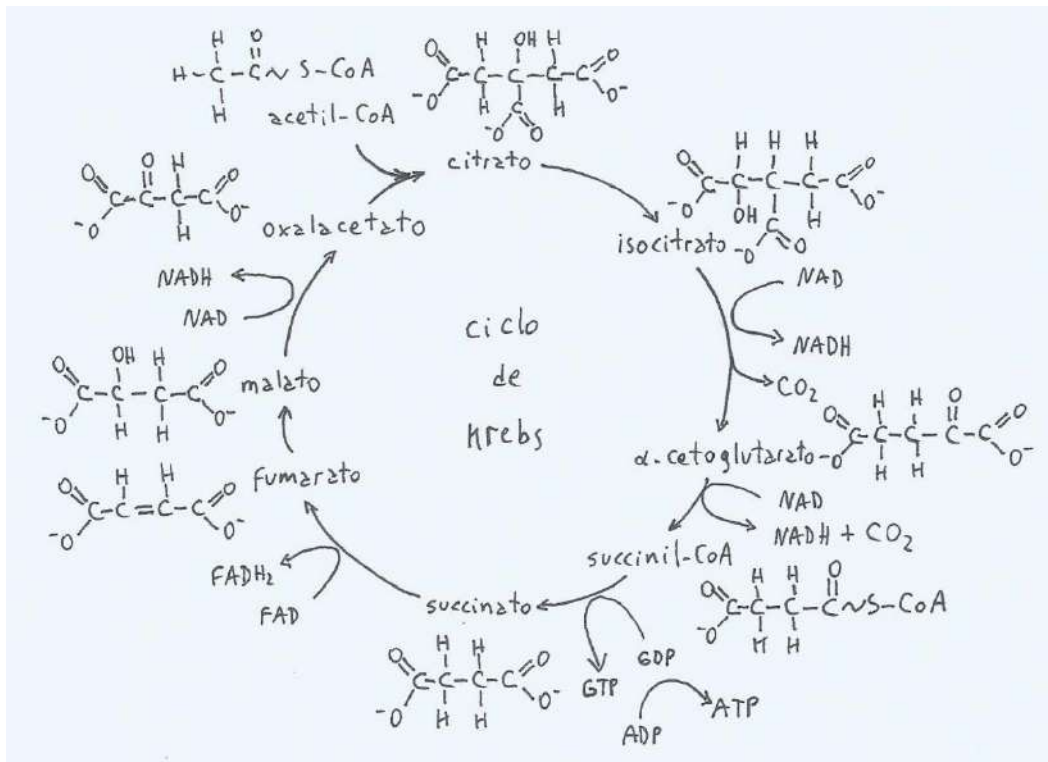
## Respiración celular

La respiración se desarrolla en dos etapas: el ciclo de Krebs y el transporte terminal de electrones. En las células eucariotas este proceso se realiza en las mitocondrias. Como vimos las mitocondrias están rodeadas por dos membranas, la externa que es lisa y la interna que tiene pliegues llamados crestas. En el compartimiento interno de las mitocondrias está la matriz mitocondrial que contiene enzimas, coenzimas, agua, fosfatos y otras moléculas implicadas en la respiración celular. En el curso de la respiración, las moléculas de tres carbonos de ácido pirúvico producido por la glucólisis, antes de ingresar al ciclo de Krebs, son oxidadas a grupos acetilo de dos carbonos liberando dióxido de carbono, para luego entrar al ciclo de Krebs. Los grupos acetilo son aceptados momentáneamente por la coenzima A (CoA) y esa combinación se denomina acetil-CoA, que es el nexo entre la glucólisis y el ciclo de Krebs.



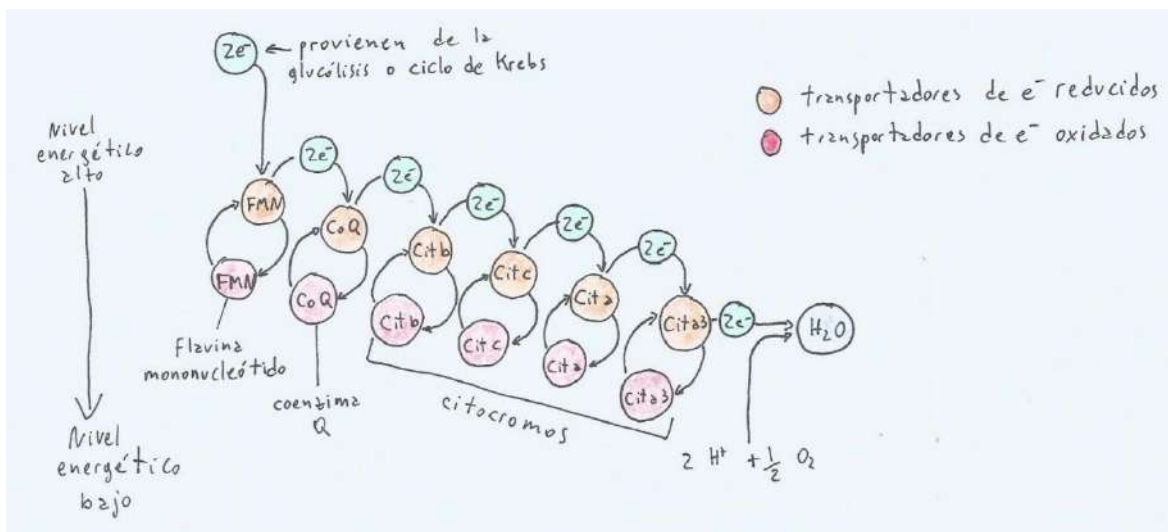
Al entrar al ciclo de Krebs el grupo acetilo se combina con un compuesto de cuatro carbonos (ácido oxalacético) y produce un compuesto de seis carbonos (ácido cítrico). En el curso de este ciclo dos átomos de C se oxidan a  $\text{CO}_2$  y se regenera el ácido oxalacético iniciando un nuevo ciclo. Parte de la energía liberada en esta oxidación es utilizada para la obtención de ATP (una molécula por ciclo) a partir de ADP y otra parte es utilizada para la producción de NADH y  $\text{H}^+$  (tres moléculas por ciclo) a partir del NAD. Otra parte de la energía es utilizada en la reducción de un segundo transportador de electrones, la molécula de FAD y por cada ciclo se forma una molécula de  $\text{FADH}_2$ .





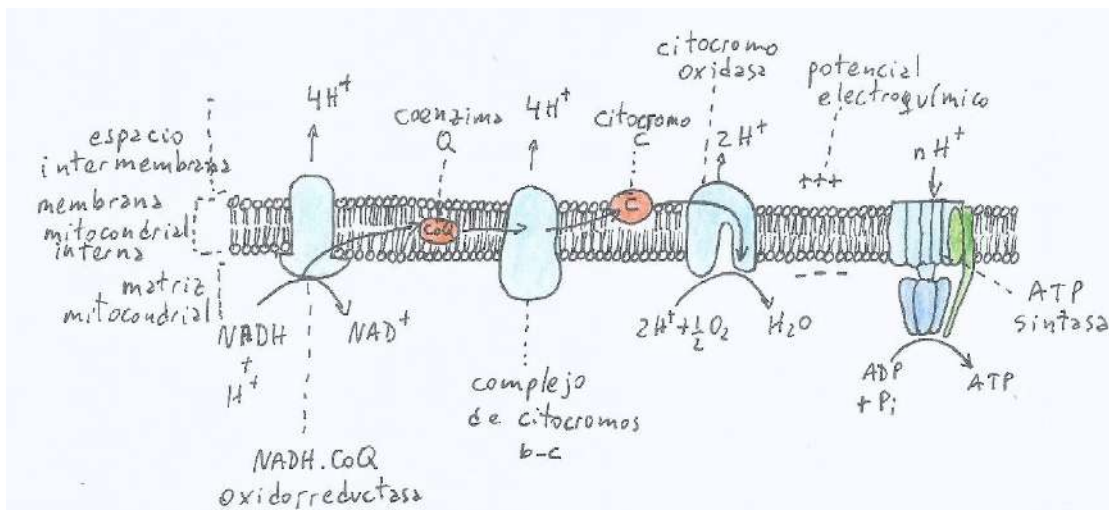
Ciclo de Krebs

La etapa final de la respiración es el transporte de electrones. En esta etapa la molécula de glucosa está completamente oxidada, parte de la energía se utilizó en la formación de ATP, pero la mayor parte de la energía almacenada permanece en los electrones que se separaron de los átomos de C y fueron conducidos a los aceptores  $\text{NAD}^+$  y  $\text{FAD}$  que se redujeron a  $\text{NADH}$  y  $\text{FADH}_2$ . Éstos electrones se encuentran en un nivel energético alto y en esta etapa son conducidos, paso a paso, a un nivel energético inferior a través de una secuencia de reacciones redox que constituyen la cadena transportadora de electrones. Los componentes de la cadena transportadora de electrones son complejos multienzimáticos que poseen unidas moléculas de citocromos. Por último, los electrones son aceptados por el  $\text{O}_2$  que se combina con  $\text{H}^+$  produciendo  $\text{H}_2\text{O}$ . Cuando los electrones se mueven por la cadena respiratoria se libera energía. Esta energía es reconducida por la mitocondria para sintetizar ATP a partir de ADP en un proceso que se llama fosforilación oxidativa. Como resultado cada dos electrones que pasan del  $\text{NADH}$  al  $\text{O}_2$  se forman tres moléculas de ATP y por cada dos electrones que pasan del  $\text{FADH}_2$  se forman dos ATP.



Representación esquemática de la cadena transportadora de electrones.





**Fosforilación oxidativa.** Se muestra la trayectoria del transporte de electrones desde NADH hasta el O<sub>2</sub>. Conforme los electrones recorren la cadena, los protones se bombean desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembranas con lo que se establece un gradiente de potencial electroquímico entre los lados de la membrana mitocondrial interna, este gradiente impulsa protones hacia el interior de la matriz mitocondrial a través de un poro en la ATP sintasa que usa la energía para formar ATP.

En tres puntos de su pasaje a lo largo de toda la cadena de transporte de electrones, se desprenden grandes cantidades de energía libre que impulsan el bombeo de protones (iones H<sup>+</sup>) hacia el exterior de la matriz mitocondrial. Esto crea un gradiente electroquímico a través de la membrana interna de la mitocondria. Cuando los protones pasan a través del complejo de ATP sintetasa, a medida que vuelven a fluir a favor del gradiente electroquímico al interior de la matriz, la energía liberada se utiliza para formar moléculas de ATP a partir de ADP y fosfato inorgánico. Este mecanismo, en virtud del cual se lleva a cabo la fosforilación oxidativa, se conoce como acoplamiento quimiosmótico. De acuerdo con la teoría quimiosmótica, los protones son bombeados hacia afuera de la matriz mitocondrial, a medida que los electrones descienden a lo largo de la cadena de transporte electrónico, que se encuentra en la membrana mitocondrial interna. El movimiento de protones a favor del gradiente electroquímico, a medida que pasan a través del complejo de la ATP sintetasa, suministra la energía por medio de la cual se regenera el ATP a partir del ADP y el fosfato inorgánico. En la mayoría de las células, la respiración aerobia transfiere suficiente energía de cada molécula de glucosa para formar 36 moléculas de ATP, 2 directamente a partir de la glucólisis y 34 del resto de la vía. Los electrones desactivados que proceden del sistema de transporte de electrones son aceptados por moléculas de oxígeno. Ésta es la razón por la que se requiere oxígeno en esta vía metabólica, para actuar como aceptores finales de electrones. Una vez que se combinan con el oxígeno, los electrones se reúnen con sus protones acompañantes (H<sup>+</sup>) para formar agua (H<sub>2</sub>O). En resumen, la vía de la respiración aerobia precisa un aporte de glucosa y oxígeno y, por la acción de enzimas específicas, coenzimas y otras moléculas, produce una salida de dióxido de carbono, agua y energía en forma de ATP.

Resumen del rendimiento energético máximo obtenido por la oxidación completa de la glucosa			
Proceso	Producción de moléculas en:		
	Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico
Glucólisis	2 ATP		2 ATP
	2 NADH		6 ATP → 6 ATP*
Respiración	Ácido Pirúvico a acetil CoA	2 x (1 NADH)	2 x (3 ATP) → 6 ATP
	Ciclo de Krebs	2 x (1 ATP)	2 ATP
		2 x (3 NADH)	2 x (9 ATP) → 18 ATP
	2 x (1 FADH <sub>2</sub> )	2 x (2 ATP) → 4 ATP	
			<b>Total: 38 ATP</b>

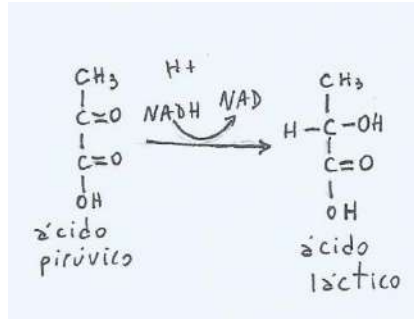
\* En algunas células, el costo energético de transportar electrones desde el NADH formado en la glucólisis, a través de la membrana interna del mitocondrio, baja la producción neta de estos 2 NADH a 4 ATP; así, la producción máxima total en estas células es 36 ATP.

Resumen del máximo rendimiento energético a partir de la oxidación de una molécula de glucosa

## Las vías anaerobias

En ausencia de oxígeno, el ácido pirúvico puede seguir una de varias vías llamadas anaeróbicas. El ácido pirúvico puede convertirse en etanol (alcohol etílico) o en uno de varios ácidos orgánicos diferentes, de los cuales el ácido láctico es el más común.

El ácido láctico se forma a partir del ácido pirúvico en algunas células animales cuando el  $O_2$  es escaso o está ausente.



*Reacción enzimática que produce ácido láctico anaerómicamente a partir de ácido pirúvico en las células musculares.*

En el curso de esta reacción, el NADH se oxida y el ácido pirúvico se reduce. Las moléculas de  $NAD^+$  producidas en esta reacción se reciclan en la secuencia glucolítica. Sin este reciclado, la glucólisis no puede seguir adelante. La acumulación de ácido láctico da como resultado dolor y fatiga muscular. Por ejemplo, se produce en las células musculares de los vertebrados durante ejercicios intensos, como en el caso de una carrera. Cuando corremos rápido, aumentamos la frecuencia respiratoria, incrementando de este modo el suministro de oxígeno, pero incluso este incremento puede no ser suficiente para satisfacer los requerimientos inmediatos de las células musculares. Sin embargo, las células pueden continuar trabajando y acumular lo que se conoce como deuda de oxígeno. La glucólisis continúa, utilizando la glucosa liberada por el glucógeno almacenado en el músculo, pero el ácido pirúvico resultante no entra en la vía aeróbica de la respiración sino que se convierte en ácido láctico que, a medida que se acumula, disminuye el pH del músculo y reduce la capacidad de las fibras musculares para contraerse, produciendo la sensación de fatiga muscular. El ácido láctico se difunde en la sangre y es llevado al hígado. Posteriormente, cuando el oxígeno es más abundante (como resultado de la inspiración y espiración profunda que siguen al ejercicio intenso) y se reduce la demanda de ATP, el ácido láctico se resintetiza en ácido pirúvico y nuevamente en glucosa o glucógeno.

¿Por qué el ácido pirúvico se convierte en ácido láctico sólo para volver a convertirse en ácido pirúvico? La función de la conversión inicial es simple: usa el NADH y regenera el  $NAD^+$ , sin el cual la glucólisis no podría continuar.

## Regulación de la glucólisis y la respiración

Los procesos de oxidación de la glucosa y la respiración aeróbica están finamente regulados de modo que la célula disponga siempre de cantidades adecuadas de ATP. La regulación se lleva a cabo mediante el control de enzimas que participan en pasos claves de esta vía metabólica. La glucólisis está sincronizada con las necesidades energéticas de la célula; a través de un mecanismo de retroalimentación, la fosfofructoquinasa es inhibida por altas concentraciones de ATP. El ATP, por otra parte, es un inhibidor a través de una interacción alostérica de inhibición del primer paso enzimático del ciclo de Krebs (citrato sintetasa). Por lo tanto, altas concentraciones de ATP bloquean el proceso oxidativo del acetil CoA que lleva a la producción de NADH y  $FADH_2$ . A su vez, la reacción enzimática que lleva a la formación del acetil CoA, sustrato del ciclo de Krebs, está regulada negativamente por la concentración del producto.

Los electrones continuarán fluyendo a lo largo de la cadena de transporte de electrones, suministrando energía para crear y mantener el gradiente de protones, solamente si se dispone de ADP para convertirse en ATP. Así, la fosforilación oxidativa está regulada por el suministro y la

demanda. Cuando los requerimientos energéticos de la célula disminuyen, se usan menos moléculas de ATP, hay menos moléculas de ADP disponibles y el flujo electrónico disminuye.

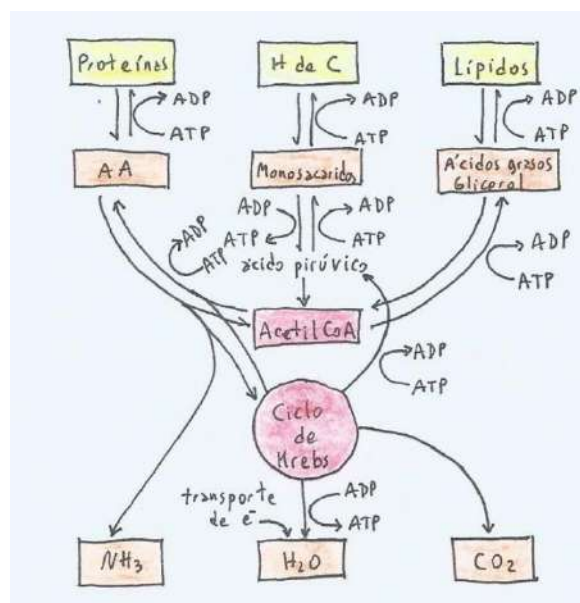
La regulación enzimática por retroalimentación permite controlar las velocidades de reacción en forma casi instantánea en respuesta a fluctuaciones en el metabolismo.

Sin embargo, las células tienen otros mecanismos de regulación enzimática a más largo plazo. Estos últimos involucran a la fosforilación que es llevada a cabo por las quinasas. La fosforilación de enzimas específicas puede activarlas, y así se regulan ciertos procesos metabólicos. Además, la remoción de grupos fosfato por parte de las enzimas fosfatasas también interviene en la regulación metabólica.

## Otras vías catabólicas y anabólicas

Las vías de degradación de la glucosa, no sólo son centrales para el catabolismo, sino también para los procesos biosintéticos que constituyen el anabolismo de la vida. Estos procesos son las vías de síntesis de las distintas moléculas y macromoléculas que constituyen un organismo.

Dado que muchas de estas sustancias, como las proteínas y los lípidos, pueden degradarse y entrar en la vía central, se puede suponer que es posible el proceso inverso, o sea, que los distintos intermediarios de la glucólisis y del ciclo de Krebs pueden servir como precursores para la biosíntesis. Y así es. Sin embargo, las vías biosintéticas, aunque son semejantes a las catabólicas, se diferencian de ellas. Hay enzimas diferentes que controlan los pasos y hay varios pasos críticos del anabolismo que difieren de los de los procesos catabólicos. Para que ocurran las reacciones de las vías catabólicas y anabólicas debe haber un suministro constante de moléculas orgánicas que puedan ser degradadas para producir energía y deben estar presentes moléculas que serán los ladrillos de construcción. Sin el suministro de estas moléculas, las vías metabólicas dejan de funcionar y la vida del organismo finaliza. Las células heterótrofas dependen de fuentes externas, específicamente de células autótrofas, para obtener las moléculas orgánicas que son esenciales para la vida. Las células autótrofas, por el contrario, son capaces de sintetizar monosacáridos a partir de moléculas inorgánicas simples y de una fuente externa de energía. Luego, estos monosacáridos se utilizan no sólo para suministrar energía, sino también como sillares de construcción para la variedad de moléculas orgánicas que se sintetizan en las vías anabólicas. Las células autótrofas más importantes, sin lugar a dudas, son las células fotosintéticas de las algas y las plantas que capturan la energía de la luz solar y la utilizan para sintetizar las moléculas de monosacáridos de las cuales depende la vida en este planeta.



## Ciclo celular. División y Muerte de las células

En diferentes etapas de la vida, ya sea en condiciones normales o patológicas las células incrementan su número mediante proliferación pasando por el ciclo celular, en el que se produce la duplicación celular y transferencia del ADN. En general, en los cromosomas, el material genético se encuentra organizado en secuencias de nucleótidos llamadas genes. Los genes portan información esencial para el funcionamiento de la célula y, por lo tanto, deben distribuirse en forma equitativa entre las células hijas. Las células se reproducen mediante un proceso conocido como división celular en el cual su material genético, se reparte entre dos nuevas células hijas. En los organismos unicelulares, por este mecanismo aumenta el número de individuos en la población. En las plantas y animales multicelulares, la división celular es el procedimiento por el cual el organismo crece, partiendo de una sola célula, y los tejidos dañados son reemplazados y reparados. Una célula individual crece asimilando sustancias de su ambiente y transformándolas en nuevas moléculas estructurales y funcionales. Cuando una célula alcanza cierto tamaño crítico y cierto estado metabólico, se divide. Las dos células hijas comienzan entonces a crecer.

Las células eucariotas pasan a través de una secuencia regular de crecimiento y división llamada ciclo celular. El ciclo celular se divide en dos etapas: interfase y división celular. Para completarse, puede requerir desde pocas horas hasta varios días, dependiendo del tipo de célula y de factores externos como la temperatura o los nutrientes disponibles. Durante la interfase el núcleo se observa con límites bien definidos y los cromosomas son visibles como finas hebras.

La mayoría de las células se multiplican por mitosis excepto los gametos que se multiplican por meiosis.

Los patrones de renovación celular son característicos de cada población celular y están regulados. Las poblaciones celulares expuestas a desgaste por factores mecánicos, químicos o metabólicos proliferan de forma permanente, otras poblaciones pueden renovarse a partir de células madre mediante algún estímulo, otros tipos celulares solo proliferan activamente en estadios embrionarios y posteriormente no ingresan en la etapa S y otros tipos celulares permanecen estables y la diferenciación terminal está relacionada con el envejecimiento.

En el desarrollo y mantenimiento de la estructura de los organismos pluricelulares, no sólo se requiere de la división celular, que aumenta el número de células somáticas, sino también del proceso de apoptosis. La apoptosis es un proceso de muerte celular programada. En los vertebrados, por apoptosis se regula el número de neuronas durante el desarrollo del sistema nervioso, se eliminan linfocitos que no realizan correctamente su función y se moldean las formas de un órgano en desarrollo, eliminando células específicas.

Ciertas veces, una célula escapa a los controles normales de división y muerte celular. Cuando una célula comienza a proliferar de modo descontrolado se inicia el cáncer. Este crecimiento desmedido puede dar lugar a la formación de una masa de células denominada tumor.

### La división celular

Por medio de la división celular el ADN de una célula se reparte entre dos nuevas células hijas. La distribución de duplicados exactos de la información hereditaria es relativamente simple en las células procariotas en las que, la mayor parte del material genético está en forma de una sola molécula larga y circular de ADN, a la que se asocian ciertas proteínas específicas. Esta molécula constituye el cromosoma de la célula y se duplica antes de la división celular. Cada uno de los dos cromosomas hijos se ancla a la membrana celular en polos opuestos de la célula.

Cuando la célula se alarga, los cromosomas se separan. Cuando la célula alcanza aproximadamente el doble de su tamaño original y los cromosomas están separados, la membrana celular se invagina y se forma una nueva pared, que separa a las dos células nuevas y a sus duplicados cromosómicos. En las células eucariotas, el problema de dividir exactamente el material genético es mucho más complejo que en las procariotas. Una célula eucariota típica contiene aproximadamente mil veces

más ADN que una célula procariota; este ADN es lineal y forma un cierto número de cromosomas diferentes.

Cuando estas células se dividen, cada célula hija tiene que recibir una copia completa, y sólo una, de cada uno de los 46 cromosomas. Además, las células eucariotas contienen una variedad de organelas que también deben ser repartidas entre las células hijas.

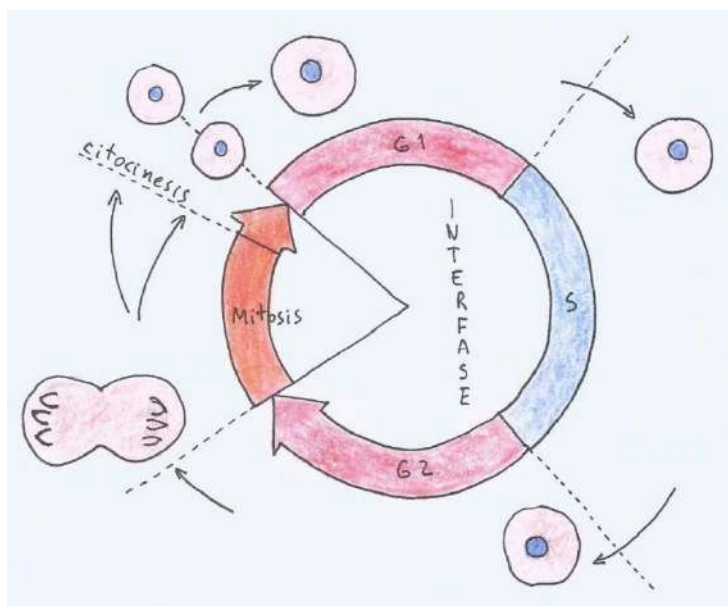
## Ciclo celular

El ciclo celular consiste en dos fases: interfase y división celular. Antes de que una célula eucariota pueda comenzar la mitosis y dividirse efectivamente, debe duplicar su ADN, sintetizar histonas y otras proteínas asociadas con el ADN de los cromosomas, producir una reserva adecuada de organelas para las dos células hijas y ensamblar las estructuras necesarias para que se lleven a cabo la mitosis y la citocinesis. Estos procesos preparatorios ocurren durante la interfase, en la cual, a su vez, se distinguen tres etapas: las fases G1, S y G2.

En la fase G1, marca el comienzo de la proliferación, las moléculas y estructuras citoplasmáticas aumentan en número y termina cuando comienza la síntesis de nuevo ADN; en la fase S, los cromosomas se duplican; y en la fase G2, comienza la condensación de los cromosomas y el ensamblado de las estructuras especiales requeridas para la mitosis. Durante la mitosis, los cromosomas duplicados son distribuidos entre los dos núcleos hijos, y luego el citoplasma se divide, separando a la célula materna en dos células hijas.

El ciclo celular está finamente regulado. Esta regulación ocurre en distintos momentos y puede involucrar la interacción de diversos factores, entre ellos, la falta de nutrimentos y los cambios de temperatura o pH, pueden hacer que las células detengan su crecimiento y su división. En los organismos multicelulares, además, el contacto con células contiguas puede tener el mismo efecto. En cierto momento del ciclo celular, la célula "decide" si va a dividirse o no. Cuando las células normales cesan su crecimiento por diversos factores, se detienen en un punto tardío de la fase G1, el punto R ("restricción"), primer punto de control del ciclo celular. En algunos casos, antes de alcanzar el punto R, las células pasan de la fase G1 a un estado especial de reposo, llamado G0, en el cual pueden permanecer durante días, semanas o años. Una vez que las células sobrepasan el punto R, siguen necesariamente a través del resto de las fases del ciclo, y luego se dividen.

La fase G1 se completa rápidamente y en la fase S, comienza la síntesis de ADN y de histonas. Existe otro mecanismo de control durante el proceso mismo de duplicación del material genético, en la fase S, que asegura que la duplicación ocurra sólo una vez por ciclo. Luego, la célula entra en la fase G2 del ciclo. En G2, existe un segundo punto de control en el cual la célula "evalúa" si está preparada para entrar en mitosis. Este control actúa como un mecanismo de seguridad que garantiza que solamente entren en mitosis aquellas células que hayan completado la duplicación de su material genético. El pasaje de la célula a través del punto R depende de la integración del conjunto de señales externas e internas que recibe.



*El ciclo celular. La división celular, constituida por la mitosis (división del núcleo) y la citocinesis (división del citoplasma), ocurre después de completarse las tres fases preparatorias que constituyen la interfase.*

El sistema de control del ciclo celular está basado en dos proteínas clave, las ciclinas y las proteínas quinasas dependientes de ciclinas (Cdk), que responden a esta integración de señales. Las proteínas quinasas se asocian con distintas ciclinas en las diferentes etapas del ciclo celular, formando el complejo Cdk-ciclina. La activación de este complejo dispara procesos que conducen a la célula a través de las distintas fases del ciclo. La degradación de las ciclinas inactiva el complejo.

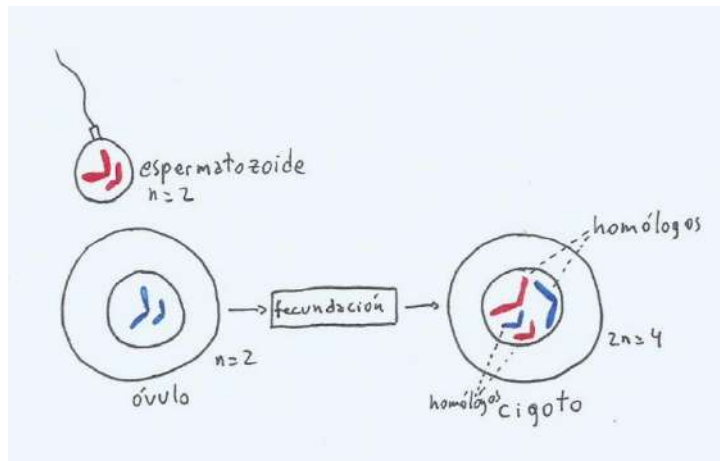
El número de veces que una célula se ha dividido anteriormente también influye en la división celular. Cuanto mayor edad tiene el organismo de donde se toman las células, menor será el número de veces que las células se dividan en cultivo. A este fenómeno se lo denomina senescencia o envejecimiento celular. Esta restricción en el número de divisiones se correlaciona con el acortamiento progresivo de los extremos de los cromosomas, los telómeros, a lo largo de los sucesivos ciclos celulares. Esto no ocurre en ciertos tipos celulares, como en las células germinales o en algunas células de la sangre. En estas células, se encuentra activa una enzima llamada telomerasa, que agrega continuamente ADN a los extremos de los cromosomas, evitando su acortamiento. Esta enzima también se encuentra activa en células cancerosas.

## Haploidía y diploidía

Cada organismo tiene un número de cromosomas característico de su especie. Sin embargo, en estos organismos, las células sexuales o gametos, tienen exactamente la mitad del número de cromosomas que las células somáticas del organismo. El número de cromosomas de los gametos se conoce como número haploide, y el de las células somáticas, como número diploide. Las células que tienen más de dos dotaciones cromosómicas se denominan poliploides.

Utilizando una notación abreviada, el número haploide se designa como  $n$  y el número diploide como  $2n$ . Cuando un espermatozoide fecunda a un óvulo, los dos núcleos haploides se fusionan,  $n+n=2n$ , y el número diploide se restablece. La célula diploide producida por la fusión de dos gametos se conoce como cigoto. En toda célula diploide, cada cromosoma tiene su pareja. Estos pares de cromosomas se conocen como pares homólogos. Los dos se asemejan en tamaño y forma, y también en el tipo de información hereditaria que contienen. Uno de los cromosomas homólogos proviene del gameto de uno de los progenitores y su pareja, del gameto del otro progenitor. Después de la fecundación, ambos homólogos se encuentran presentes en el cigoto.

En la meiosis, la dotación cromosómica diploide, que contiene los dos homólogos de cada par, se reduce a una dotación haploide, que contiene solamente un homólogo de cada par. Así, la meiosis compensa los efectos de la fecundación.



*La reproducción sexual se caracteriza por dos hechos: la meiosis y la fecundación. Una vez finalizada la meiosis, las células resultantes tienen una sola dotación cromosómica, el número haploide de cromosomas ( $n$ ). Después de la fecundación, el cigoto tiene una dotación cromosómica doble, el número diploide ( $2n$ ).*

## Mitosis

La mitosis es un proceso de segregación cromosómica y división nuclear, seguidas por división citoplasmática, que produce dos células hijas con la misma cantidad de cromosomas y contenido de ADN que la célula progenitora. El proceso de división celular incluye la división del núcleo (cariocinesis) y del citoplasma (citocinesis). El proceso de citocinesis distribuye las organelas en las dos células hijas. Antes de entrar en mitosis la célula duplica su ADN, en la fase S del ciclo celular. Al comienzo de esta fase la cantidad de cromosomas es  $2n$  y el contenido de ADN es  $2d$ , al final de esta etapa el contenido de cromosomas sigue siendo  $2n$  y el contenido de ADN se duplica a  $4d$ .

La mitosis tiene cuatro fases, profase, metafase, anafase y telofase.

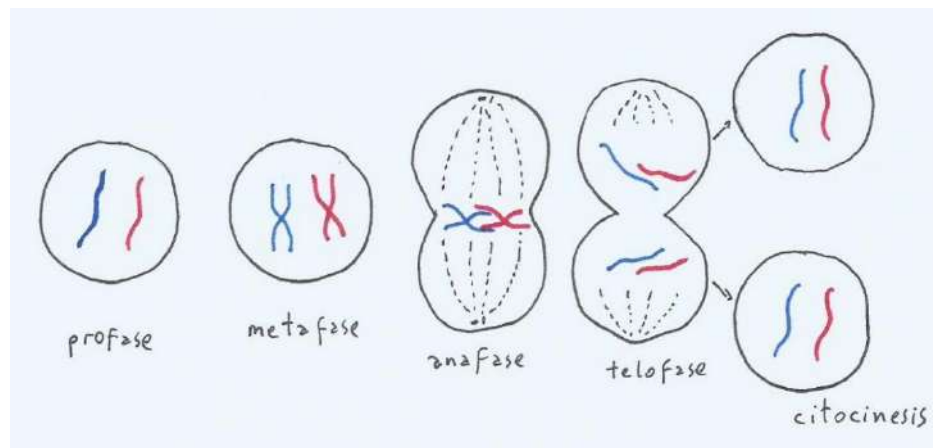
La profase comienza cuando los cromosomas duplicados se hacen visibles, cada uno de los cromosomas de cada par aparece formado por dos cromátides unidas por el centrómero. En la última parte de la profase se desintegra la envoltura nuclear y desaparecen los nucléolos. Los centrosomas empiezan a formar el huso mitótico, formado por microtúbulos que van a dirigir la orientación de los cromosomas.

En la metafase los cromosomas van a ubicarse en el plano ecuatorial perpendicular al eje del huso mitótico formando la placa ecuatorial.

Durante la anafase los cromosomas migran desde la placa ecuatorial hacia sus respectivos polos celulares. El proceso se inicia con la división de los centrómeros y cada una de las cromátides se transforma en un cromosoma hijo independiente.

La telofase inicia el fin de la división nuclear formando dos núcleos hijos por formación de la nueva membrana nuclear, la cariocinesis, y termina con la división celular, citocinesis, por estrangulamiento de la membrana plasmática.





## Meiosis y reproducción sexual

La reproducción sexual requiere, en general, de dos progenitores y siempre involucra dos hechos: la fecundación y la meiosis. La fecundación es el medio por el cual las dotaciones genéticas de ambos progenitores se reúnen y forman una nueva identidad genética, la de la prole. La meiosis es un tipo especial de división nuclear en el que se redistribuyen los cromosomas y se producen células que tienen un número haploide de cromosomas ( $n$ ), los gametos. La fecundación restablece el número diploide ( $2n$ ). En organismos con reproducción sexual, la haploidía y la diploidía se suceden a lo largo de los ciclos de vida.

Cada una de las células haploides producidas por meiosis contiene un complejo único de cromosomas, debido al entrecruzamiento y a la segregación al azar de los cromosomas. De esta manera, la meiosis es una fuente de variabilidad en la descendencia.

Durante la meiosis, cada núcleo diploide se divide dos veces, produciendo un total de cuatro núcleos. Sin embargo, los cromosomas se duplican sólo una vez, antes de la primera división nuclear. Por lo tanto, cada uno de los cuatro núcleos producidos contiene la mitad del número de cromosomas presentes en el núcleo original.

### Las fases de la meiosis

La meiosis, un tipo especial de división nuclear, consiste en dos divisiones nucleares sucesivas, designadas convencionalmente meiosis I y meiosis II separadas de una corta interfase en la que no hay replicación de ADN. En la meiosis I se aparean y luego se separan los cromosomas homólogos; en la meiosis II, se separan las cromátidas de cada homólogo. Durante este proceso de división se redistribuyen los cromosomas y se producen células que tienen un número haploide de cromosomas ( $n$ ).

Durante la interfase que precede a la meiosis, los cromosomas se duplican de manera que, al comienzo de la meiosis, cada cromosoma consiste en dos cromátidas hermanas idénticas.

La profase I de la meiosis es una etapa particularmente larga, en ella los cromosomas homólogos se aparean. Un homólogo de cada par proviene de un progenitor, y el otro homólogo, del otro progenitor. Cada homólogo consta de dos cromátidas hermanas idénticas, que se mantienen unidas por el centrómero. Cada par homólogo está formado por cuatro cromátidas por lo que también se conoce como tétrada (del griego, tetra que significa "cuatro"). Entre las cromátidas de los dos cromosomas homólogos se produce el entrecruzamiento, es decir, el intercambio de segmentos cromosómicos. Los cromosomas homólogos permanecen asociados en los puntos de entrecruzamiento, o quiasmas, hasta el final de la profase I, como resultado las cromátidas hermanas de cada homólogo ya no son completamente idénticas; el entrecruzamiento produce una recombinación del material genético de los dos homólogos.

En la metafase I los cromosomas apareados se alinean en el plano ecuatorial. Los cromosomas homólogos todavía están unidos por los quiasmas. Al final de la metafase los quiasmas se escinden y los cromosomas se separan.

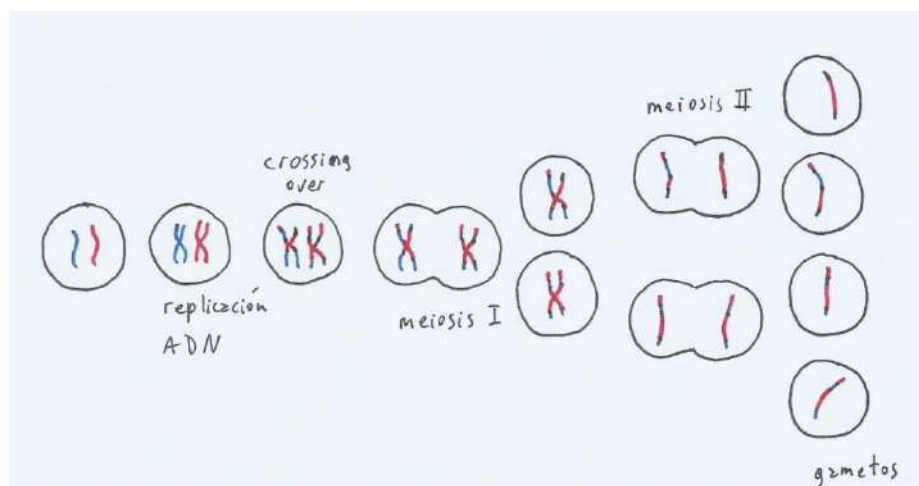
En la anafase I los homólogos se separan como si fueran tironeados por las fibras del huso pero las cromátides hermanas permanecen unidas.

En la telofase I los cromosomas homólogos se han movido hacia los polos y se forma una nueva envoltura nuclear.

Al final de la meiosis I se divide el citoplasma y cada célula resultante es haploide en cuanto a su cantidad de cromosomas ( $1n$ ), dado que contiene un solo cromosoma de cada par, pero todavía es diploide en cuanto a su contenido de ADN ( $2d$ ). La segregación o distribución aleatoria ocurre porque los cromosomas materno y paterno de cada par se alinean al azar en uno u otro lado de la placa ecuatorial durante la metafase, lo que contribuye a la diversidad genética.

Los núcleos pueden pasar por un período de interfase, es corto y el material cromosómico no se duplica.

En la segunda etapa de la meiosis, la meiosis II, tiene lugar la separación de las cromátides hermanas de cada cromosoma, como si fuese una mitosis. Cuando los dos núcleos se dividen, se forman cuatro células haploides ( $1n$  y  $1d$ ). Las etapas de esta división son la profase II, metafase II, anafase II y telofase II.



Representación de las fases de la meiosis en una célula cuyo número diploide es  $2n = 2$  ( $n = 1$ ).

En la mujer, los ovocitos inician la primera división meiótica durante el desarrollo fetal que se detiene en profase I, éstos ovocitos quedan en ese estado hasta que son modificados mensualmente en cada ciclo menstrual por acción de las hormonas FSH y LH para continuar la división. La meiosis II ocurre en el ovocito liberado por el ovario y que alcanzó la trompa uterina y solamente se completa la división si es fecundado. En la meiosis de los gametos femeninos la distribución del citoplasma es desigual y da origen al ovocito y tres cuerpos polares que tienen escaso citoplasma y no son funcionales.

En el hombre la meiosis se inicia en la pubertad, también por el efecto de las mismas hormonas que en la mujer y se mantiene durante toda la vida. Cada célula que se divide da origen a cuatro espermatozoides.

## Muerte celular: Apoptosis y necrosis

En un individuo u organismo multicelular, los ritmos de proliferación y muerte celular determinan la producción neta de células. Una anomalía en cualquiera de estos ritmos puede causar trastornos por aumento del número de células (hiperplasia, cáncer, enfermedades autoinmunes) o trastornos por pérdida celular (atrofia, enfermedades degenerativas, lesión isquémica).

La muerte celular puede ser producto de una lesión accidental o de mecanismos que causen la autodestrucción de las células. Los dos mecanismos diferentes son:

- Apoptosis o muerte celular programada, es un proceso fisiológico en el cual las células que no se necesitan son eliminadas. La célula participa activamente en su propia muerte, este proceso es activado por diversas señales extrínsecas e intrínsecas y ocurre en varias etapas, primero se fragmenta el ADN, disminuye el volumen celular, luego se pierde la función mitocondrial por acción de unas enzimas proteolíticas llamadas caspasas, la membrana plasmática forma vesículas que alteran sus propiedades físicas y químicas y en el último paso se forman cuerpos apoptóticos, que son vesículas que contienen restos de los orgánulos y el material nuclear, que son eliminados por células fagocíticas. Las enzimas involucradas en el proceso de apoptosis permanecen normalmente inactivas en las células, respondiendo a mecanismos de control estrictos. Los mecanismos de control son los responsables de activar la maquinaria letal en momentos particulares de la vida de la célula, respondiendo a señales externas o internas. Cualquier alteración en estos mecanismos de control puede tener consecuencias nefastas para el organismo, creando estados patológicos producidos tanto por la pérdida de células normales como por la sobrevida de células que deberían entrar en apoptosis.

- Necrosis o muerte accidental, es un proceso patológico que ocurre cuando las células se exponen a un medio físico o químico desfavorable que causa lesión aguda y daño en la membrana plasmática. El daño en la membrana provoca la entrada y salida de agua e iones y también se dañan los orgánulos. Como resultado el contenido citoplasmático se libera al espacio extracelular y produce una respuesta inflamatoria que recluta leucocitos, y que puede lesionar el tejido normal que la circunda.

La apoptosis, a diferencia de la necrosis, es un tipo de muerte activa, que requiere gasto de energía por parte de la célula y es un proceso ordenado en el que no se desarrolla un proceso inflamatorio.

## El control de la proliferación celular y el cáncer

La capacidad de proliferar en forma descontrolada está relacionada con la acumulación de ciertos cambios en la célula. El cáncer es el resultado de una serie de modificaciones accidentales en el material genético que trae como consecuencia la alteración del comportamiento normal de la célula. Existen genes que contribuyen a originar un cáncer, los cuales están relacionados con el control del crecimiento y la sobrevida de la célula. Entre ellos, los protooncogenes estimulan la proliferación celular y los genes supresores de tumores, la inhiben. La versión alterada de un protooncogen se denomina oncogen (del griego onkos, "tumor") y puede ser responsable, del aumento desmedido de una proteína estimuladora del crecimiento. Por otra parte, la versión alterada de un gen supresor puede resultar en la pérdida de una proteína inhibidora del crecimiento o de una proteína activadora de la muerte programada. En ambos casos, la presencia de estos genes alterados conduce a la proliferación descontrolada de las células que se encuentra en el origen de todo cáncer. Mientras las células tumorales quedan restringidas a una masa única, se dice que el tumor es benigno. Un tumor benigno puede proseguir su crecimiento sin invadir el tejido circundante; puede también detener su crecimiento o reducirse. En muchas ocasiones, es posible removerlo quirúrgicamente y lograr así una cura completa. Una característica clave de las células cancerosas es que, a diferencia de las células normales, tienen la capacidad de emigrar, invadir nuevos tejidos y establecer nuevas colonias. Este proceso se denomina metástasis. Un tumor que adquiere esta capacidad pasa a ser maligno y causa frecuentemente la muerte.

## Alteraciones cromosómicas

En los cromosomas pueden ocurrir cambios que afecten su número o estructura. Estos cambios se clasifican como alteraciones cromosómicas numéricas o alteraciones cromosómicas estructurales, respectivamente.

Las alteraciones numéricas pueden involucrar una dotación haploide completa o sólo algunos cromosomas y, en general, se deben a fallas en la migración de los cromosomas durante la meiosis

o la mitosis. Por ejemplo, los organismos eucariotas diploides presentan células o individuos haploides, aunque, frecuentemente, esto no constituye una situación anormal. Tal es el caso de los gametos. En genética vegetal, suelen obtenerse experimentalmente organismos haploides y, de este modo, se consigue que ciertas variantes recesivas se expresen siempre. Seleccionando artificialmente esas variantes, pueden construirse ejemplares resistentes a diferentes factores del medio ambiente y luego, por manipulación de la mitosis -empleando agentes que impiden la formación del huso mitótico - obtener líneas puras de diploides homocigotas, derivados de los haploides seleccionados.

Otras veces, la dotación cromosómica es superior a dos y, en este caso, los organismos son poliploides (triploides,  $3n$ ; tetraploides,  $4n$ ; pentaploides,  $5n$ ; etc.) lo que representa, a veces, una situación anormal. Sin embargo, los poliploides son muy frecuentes entre las plantas.

En otros casos, los cambios en el número de cromosomas no afectan a una dotación completa, sino que involucran a uno o a unos pocos cromosomas. Por ejemplo, el síndrome de Down está caracterizado por una trisomía en el par 21 (tres cromosomas del par 21) y el síndrome de Turner por una monosomía del cromosoma X (el complemento sexual integrado por un solo cromosoma X).

Las alteraciones estructurales se deben a rupturas que ocurren dentro de un cromosoma o entre cromosomas no homólogos. Una porción de un cromosoma puede perderse y sufrir una deleción, puede duplicarse, puede ser translocada a un cromosoma no homólogo, o puede invertirse. Los estudios hechos en los cromosomas gigantes de las larvas de *Drosophila* suministraron la confirmación visual de estos cambios, así como la evidencia final y concluyente de que los cromosomas son los portadores de las partículas de la herencia.

## El ADN, bases químicas del código genético

Un gen humano es un segmento de la molécula de ADN. Consta de una cadena de unos 1.000 pares de nucleótidos unidos uno tras otro en una sucesión concreta. Cada gen del ADN es un código. El código genético se copia en primer lugar a una molécula de ácido ribonucleico (ARN) o transcrito. Cada uno de los transcritos de ARN de un gen se puede traducir luego en la célula y utilizarse para crear una cadena de polipéptidos o proteínas, los casi 24.000 genes codificadores de proteínas que constituyen el ADN de la célula determinan su estructura y sus funciones.

Se entiende por genoma completo la cantidad total de genes de un juego haploide de cromosomas de un individuo determinado. Se considera que un ser humano contiene alrededor de 24.000 genes codificadores de proteínas. Si comparamos la cantidad de genes con la cantidad de ADN en una célula humana vemos que hay mucho más ADN que la necesaria para esa cantidad de genes, esa cantidad excesiva de ADN se explica por la aparición de las denominadas secuencias repetidas de ADN. Es posible que algunas de estas secuencias repetidas de ADN sean importantes para la regulación de genes.

El denominado "dogma central de la biología molecular" postula la secuencia en la duplicación, transmisión y expresión de la información contenida en la cadena de ADN. Así propone que el ADN puede duplicarse y ser transcrito a ARN y que el ARN es traducido a proteína. Este proceso ha sufrido diversos cuestionamientos, dado que hoy se sabe que se puede sintetizar ADN a partir de ARN mediante la enzima transcriptasa inversa, presente en algunos virus, y también el ARN tiene diversas funciones dentro de las células que no dependen de su traducción a proteínas.



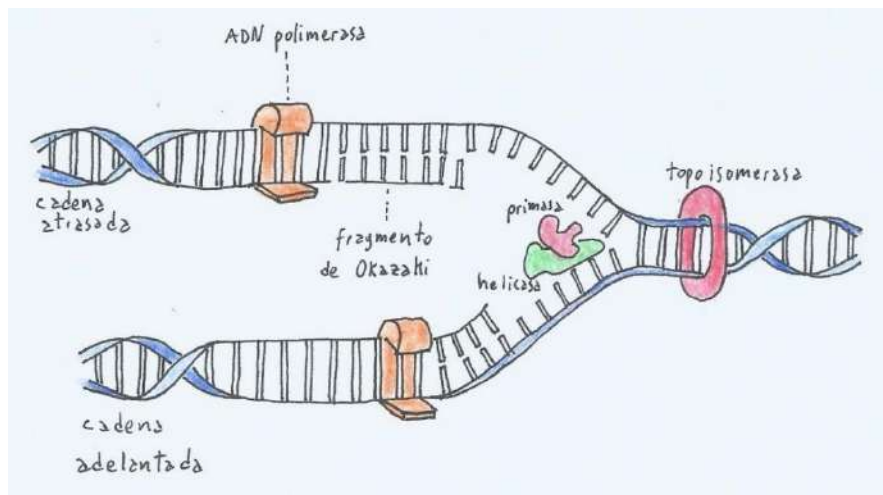
*El "dogma" central de la biología molecular*

## La replicación del ADN

Una propiedad esencial del material genético es su capacidad para hacer copias exactas de sí mismo. La replicación del ADN en los eucariotas es igual, en principio, a la replicación del ADN de los procariotas y tiene tres propiedades importantes, es semiconservativa, comienza en uno o varios sitios específicos y es bidireccional.

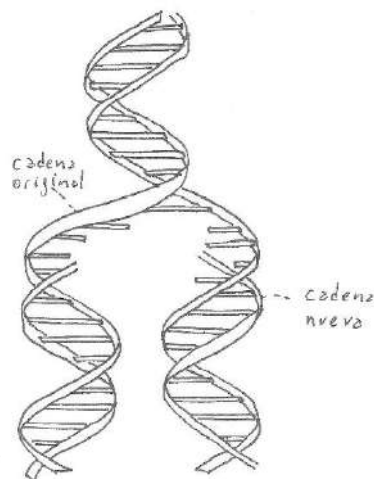
El proceso de replicación comienza en un punto determinado, donde la enzima ADN helicasa induce la separación de las dos hebras de la espiral doble de ADN y luego se une a una de ellas. Cuando las dos hebras se separan, constituyen dos estructuras en forma de Y, denominadas horquillas de replicación. De este modo, las hebras de ADN quedan libres y sirven como molde para la síntesis de las dos nuevas hebras de ADN, por apareamiento de bases complementarias. A partir del punto de inicio de la replicación, las horquillas de replicación se desplazan en direcciones opuestas. La síntesis de ADN es catalizada por la enzima ADN polimerasa, capaz de sintetizar ADN a partir de los derivados trifosfatados de las cuatro bases que componen el ADN, pero solo en la dirección 5'-3', es decir, únicamente puede agregar nucleótidos en el extremo 3' de una hebra de ADN existente. Como se mencionó anteriormente el ADN está formado por dos hebras antiparalelas, por lo que una hebra transcurre en la dirección 5'-3' y la otra en la dirección 3'-5'. Esto implica que sólo una de las hebras de ADN, denominada cadena adelantada, se sintetiza continuamente. La otra hebra, denominada cadena atrasada, se sintetiza en forma discontinua, en trozos denominados fragmentos de Okasaki, que también son sintetizados en la dirección 5'-3' por la ADN polimerasa, es decir, alejándose de la horquilla de replicación. Después de la síntesis, la enzima ADN ligasa une los fragmentos, por lo que se forma una hebra continua que transcurre en la dirección 5'-3' y antiparalela a la hebra adelantada, que también transcurre en la dirección 5'-3', pero hacia la horquilla de replicación. Como se mencionó, la ADN polimerasa solo puede sintetizar una hebra de ADN a partir de la hebra ya existente, pues únicamente está en condiciones de agregar nucleótidos en el extremo 3'. El comienzo de la síntesis es catalizado por la enzima ADN primasa, capaz de sintetizar fragmentos muy cortos de ARN con el ADN como plantilla, y desde el inicio, por unión de los dos primeros nucleótidos de la molécula. Estos segmentos cortos de ARN se denominan cebadores o "primer", y en cuanto se forma uno de estos cebadores, la ADN polimerasa continua agregando nucleótidos al extremo 3' del cebador. En la hebra adelantada esto sólo ocurre cuando comienza la síntesis de la hebra de ADN, mientras que en la hebra retrasada comienza con ARN cebador en cada fragmento de Okasaki. Los cebadores se retiran y son reemplazados por ADN de la ADN polimerasa, tras lo cual los fragmentos de Okasaki son unidos por la ADN ligasa. Dado que el proceso tiene lugar durante toda la síntesis de la hebra retrasada, se relaciona con la ADN primasa, que junto con la ADN helicasa, constituye un complejo denominado primosoma.

También se relaciona con la replicación del ADN otro grupo de enzimas, el formado por las topoisomerasas I y II, localizadas inmediatamente por delante de la horquilla de replicación, donde inducen roturas transitorias de una o ambas hebras de ADN con el objeto de facilitar el desenrollamiento de la doble hélice, cuando ambas hebras deban separarse durante el proceso de replicación. Cuando se produce el enrollamiento, el ADN rota delante de la horquilla de replicación. Debido a las topoisomerasas, solo es necesario rotar la porción hasta el siguiente corte de la molécula de ADN por la enzima. Sin las topoisomerasas, debería rotar toda la hebra de ADN delante de la horquilla de replicación, lo cual requeriría gran cantidad de energía y retardaría el proceso de replicación.



En el proceso de replicación del ADN se pierden nucleótidos en los extremos de las moléculas de ADN lineales. En algunas células eucariotas, esta pérdida es compensada por la actividad de la enzima telomerasa.

En el curso de la síntesis de ADN, la ADN polimerasa corrige los errores, retrocediendo cuando es necesario para eliminar nucleótidos que no estén correctamente apareados con la cadena molde. Otros errores en el ADN ocurren en forma independiente del proceso de replicación y son usualmente reparados por distintos mecanismos.



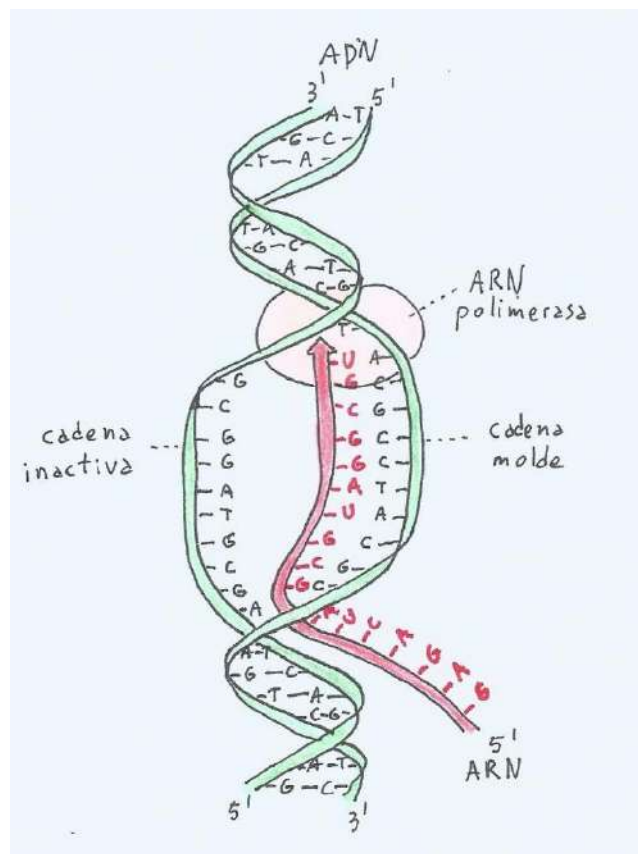
*Replicación de la molécula de ADN, predicha por el modelo de Watson y Crick. Las cadenas se separan al romperse los puentes de hidrógeno que mantenían unidas a las bases. Cada una de las cadenas originales sirve luego como molde para la formación de una cadena complementaria nueva con los nucleótidos disponibles en la célula.*

## Transcripción del ADN

Como se vio anteriormente, un gen es una secuencia de ADN que codifica una molécula funcional de ARN. La molécula de ARN puede codificar la síntesis de un polipéptido o proteína determinado (ARNm) o ser ARNr, ARNt o alguna de las pequeñas moléculas de ARN.

En las células eucariotas la transcripción de genes es catalizada por tres enzimas distintas. La ARN polimerasa I cataliza la transcripción para tres ARNr (las unidades 5,8s, 18s y 28s) y se encuentra en el nucléolo. La ARN polimerasa II transcribe los genes codificadores de proteínas en ARNm y los genes para varios ARN pequeños y se localiza en regiones de eucromatina nuclear. La ARN polimerasa III transcribe los genes para ARNt, ARNr (5s) y algunos ARN pequeños y se encuentra tanto en el nucléolo como en la eucromatina. Para todas las ARN polimerasas, el proceso de transcripción comienza con la unión de la polimerasa a una secuencia de ADN denominada promotor, localizada cerca de la región por transcribir. Como consecuencia, las dos hebras del ADN se separan frente al promotor, de manera tal que la ARN polimerasa accede a la hebra que conforma el molde para la síntesis del ARN complementario, cuya secuencia de bases será igual a la hebra complementaria de

ADN, salvo que contiene uracilo en lugar de timina. Así, la hebra de ARN y la hebra codificadora de ADN tendrán la misma dirección definida 5'-3', dado que la hebra que sirve de molde se lee en sentido 3'-5', mientras que la hebra de ARN se sintetiza en el sentido 5'-3', es decir, el mismo que la hebra codificadora de ADN. La unión entre la ARN polimerasa y el promotor es mediada por varias proteínas denominadas factores de transcripción, una de las cuales encuentra el promotor y después se fija a la ARN polimerasa. La secuencia de nucleótidos del promotor para la ARN polimerasa II suele ser TATAAA, la denominada caja TATA, ubicada unas 25 bases antes del sitio de inicio de la transcripción. Mientras ocurre la síntesis, las hebras de ADN sólo se separan una corta extensión (15 a 20 pares de bases) para dar acceso a la ARN polimerasa, que durante la transcripción se desliza a lo largo de la hebra molde en dirección 3'-5'. La molécula de ARN se separa de la hebra molde a medida que se forma y la doble hélice de ADN se cierra de inmediato. La transcripción continúa hasta que la ARN polimerasa encuentra una secuencia de bases determinada que marca el fin de la transcripción, entonces dos complejos de proteínas relacionados con la ARN polimerasa cortan la hebra de ARN. La transcripción sólo ocurre cuando el ADN está disperso, en la eucromatina.



Representación esquemática de la transcripción del ARN.

Las moléculas de ARN primario transcritas o pre-ARNm, sufren notables modificaciones antes de ser exportadas al citoplasma para la traducción. La primera modificación ocurre cuando un complejo enzimático se ubica sobre el extremo de la hebra de ARN y agrega un grupo metilguanilo en el extremo 5', este extremo actúa como marcador de ARNm, dado que los demás ARN no lo tienen. El grupo metilguanilo sirve de anclaje para un complejo de proteínas denominado casquete o capuchón, que protege al ARNm contra la degradación y tiene importancia para el tratamiento posterior, la exportación al citoplasma y la traducción.

El genoma de los organismos eucariotas contiene largas secuencias de bases que codifican ARN sin función conocida, éstas secuencias se denominan intrones y los genes codificadores de proteínas están divididos en fragmentos denominados exones, que están separados por intrones.





Algunos genes pueden comprender más de 50 exones separados. Las moléculas de pre-ARNm son una transcripción continua de intrones y exones. Los intrones son identificados y eliminados por un proceso denominado corte y empalme. Los límites entre los intrones y exones se reconocen mediante determinadas secuencias de bases.

Así como se modifica el extremo 5' del ARNm, lo mismo ocurre con el extremo 3', dado que enseguida después del recorte se adosa una cadena de polinucleótido de adenina (poli-A) a la que se fijan otras proteínas especiales. Esta cola es necesaria para que la hebra de ARNm pueda ser traducida en el citoplasma. La molécula de ARNm queda entonces lista para su exportación del núcleo celular.

## Código genético

El código genético consiste en el sistema de tripletes de nucleótidos en el ARNm copiado a partir de ADN, que especifica el orden de los aminoácidos en una proteína.

Las proteínas contienen 20 aminoácidos diferentes, pero el ADN y el ARN contienen, cada uno, sólo cuatro nucleótidos diferentes. El código genético consiste en 64 combinaciones de tripletes (codones) y sus aminoácidos correspondientes. Los codones que se muestran aquí son los que puede presentar la molécula de ARNm. De los 64 codones, 61 codifican aminoácidos particulares. Los otros 3 codones son señales de detención, que determinan la finalización de la cadena. Dado que los 61 tripletes codifican para 20 aminoácidos, hay "sinónimos" como, por ejemplo, los 6 codones diferentes para la leucina.

La mayoría de los sinónimos, como se puede ver, difieren solamente en el tercer nucleótido. Sin embargo, la afirmación inversa no es válida: cada codón especifica solamente un aminoácido.

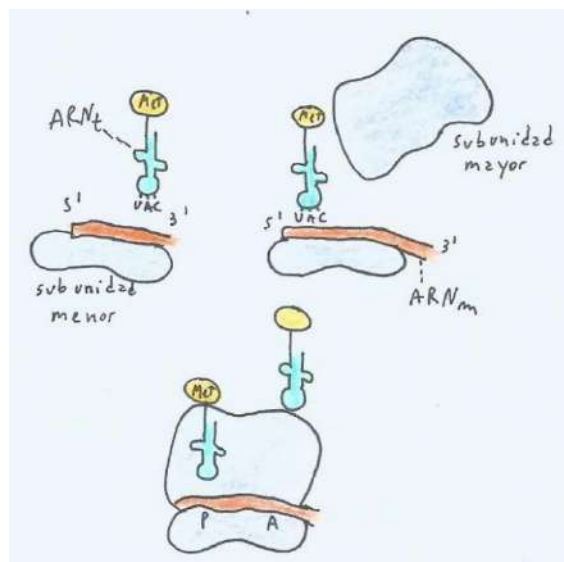
		Segunda base				
		U	C	A	G	
Primera base	U	UUU } Fen UUC } UUA } UUG } Leu	UCU } Ser UCC } UCA } UCG } Ser	UAU } Tir UAC } UAA Alto UAG Alto	UGU } Cis UGC } UGA Alto UGG Trp	U C A G
	C	CUU } Leu CUC } CUA } CUG } Leu	CCU } Pro CCC } CCA } CCG } Pro	CAU } His CAC } CAA } Glu CAG } Glu	CGU } Arg CGC } CGA } CGG } Arg	U C A G
	A	AUU } Ile AUC } AUA } AUG Met inicio	ACU } Tre ACC } ACA } ACG } Tre	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG } Lys	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG } Arg	U C A G
	G	GUU } Val GUC } GUA } GUG } Val	GCU } Ala GCC } GCA } GCG } Ala	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG } Glu	GGU } Gli GGC } GGA } GGG } Gli	U C A G

El código genético consiste en 64 combinaciones de tripletes (codones) y sus aminoácidos correspondientes.

## La síntesis de proteínas o traducción

La síntesis de proteínas ocurre en los ribosomas que consisten en dos subunidades, una grande y una pequeña, cada una formada por ARNr y proteínas específicas. Para la síntesis de proteínas, también se requiere de moléculas de ARNt, que están plegadas en una estructura secundaria con forma de hoja de trébol. Estas moléculas pequeñas pueden llevar un aminoácido en un extremo y tienen un triplete de bases, el anticodón, en un asa central, en el extremo opuesto de la molécula. La molécula de ARNt es el adaptador que aparea el aminoácido correcto con cada codón de ARNm durante la síntesis de proteínas.

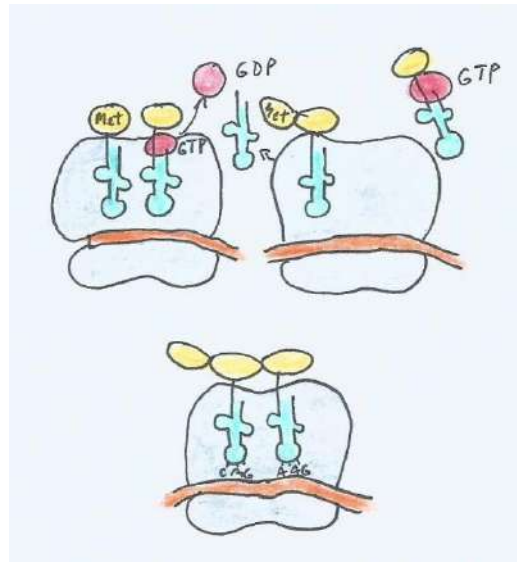
La síntesis proteica comienza con la denominada fase de iniciación, en la cual la molécula de ARNm que codifica a la proteína a sintetizar se fija a la subunidad menor del ribosoma por su extremo 5'. Durante la fijación se ubica el codón de inicio AUG, del ARNm, en el sitio P del ribosoma. Después de la fijación del ARNm, se adosa la subunidad mayor del ribosoma, con lo que el ribosoma está en condiciones de comenzar la síntesis proteica finalizando la fase de iniciación.



Iniciación

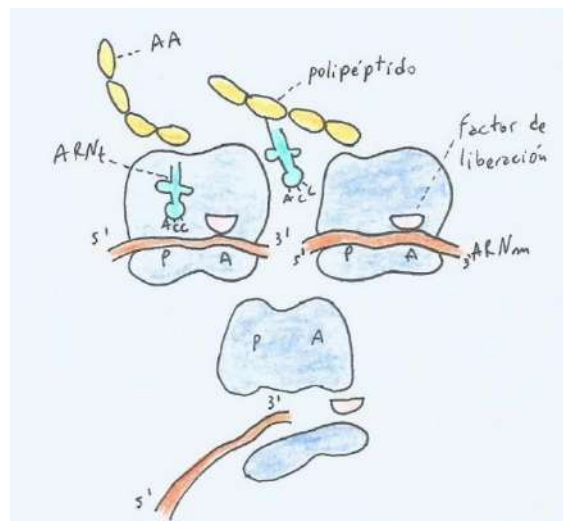
Después de la fase de iniciación empieza la denominada fase de elongación, en la cual se encadenan los aminoácidos necesarios para sintetizar la proteína. El ARNt es el encargado de buscar y traer hasta el ribosoma cada uno de los aminoácidos, leyendo con el anticodón el codón del ARNm. El segundo aminoácido es llevado por el ARNt correspondiente al sitio A del ribosoma, se forma un

enlace peptídico entre los dos aminoácidos reunidos en el ribosoma. Al mismo tiempo, se rompe el enlace entre el primer aminoácido y su ARNt. El ribosoma se mueve a lo largo de la cadena de ARNm en una dirección 5' a 3', y el segundo ARNt, con el dipéptido unido, se mueve desde el sitio A al sitio P, a medida que el primer ARNt se desprende del ribosoma. Un tercer aminoacil-ARNt se coloca en el sitio A y se forma otro enlace peptídico. La cadena peptídica naciente siempre está unida al ARNt que se está moviendo del sitio A al sitio P y el ARNt entrante que lleva el siguiente aminoácido siempre ocupa el sitio A. Este paso se repite una y otra vez hasta que se completa el polipéptido.



*Elongación*

Cuando el ribosoma alcanza un codón de terminación (en este ejemplo UGA), el polipéptido se escinde del último ARNt y el ARNt se desprende del sitio P. El sitio A es ocupado por un factor de liberación que produce la disociación de las dos subunidades del ribosoma.



*Terminación*

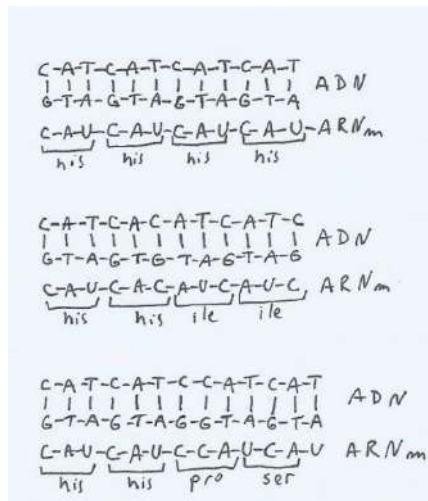
Algunas proteínas se sintetizan en ribosomas libres en el citosol, esta proteína puede permanecer en el citoplasma o ser transportada a otras organelas. También pueden encontrarse en forma de polirribosomas unidos a una hebra de ARNm sintetizando la misma proteína. Algunas proteínas tienen una secuencia inicial y a menudo se denominan preproteínas.

Las proteínas sintetizadas en el RER sufren varias modificaciones durante y después de su formación y en la mayoría de los casos son dirigidas al aparato de Golgi para su tratamiento final y ser distribuidas hacia los destinos determinados.

## Mutaciones

En la actualidad, las mutaciones se definen como cambios en la secuencia o en el número de nucleótidos en el ácido nucleico de una célula o de un organismo. Las mutaciones de punto pueden ocurrir en forma de sustituciones de un nucleótido por otro, deleciones o adiciones de nucleótidos. Las mutaciones que ocurren en los gametos, o en las células que originan gametos, se transmiten a generaciones futuras. Las mutaciones que ocurren en las células somáticas sólo se transmiten a las células hijas que se originan por mitosis y citocinesis.

Otros cambios en la secuencia de aminoácidos de una proteína pueden ser resultado de la deleción o la adición de nucleótidos dentro de un gen. Cuando esto ocurre, el marco de lectura del gen puede desplazarse. Esto, en general, da como resultado la síntesis de una proteína completamente nueva. Los "corrimientos del marco de lectura" casi invariablemente llevan a proteínas defectuosas. La deleción o la adición de nucleótidos dentro de un gen lleva a cambios en la proteína producida. La molécula de ADN original, el ARNm transcrito a partir de ella y el polipéptido resultante se muestran en a). En b) vemos el efecto de la deleción de un par de nucleótidos (T-A), en donde indica la flecha. El marco de lectura del gen se altera y aparece una secuencia diferente de aminoácidos en el polipéptido. En c), la adición de un par de nucleótidos (C-G en rosa) da como resultado un cambio semejante.



La deleción o la adición de nucleótidos dentro de un gen lleva a cambios en la proteína producida porque la modificación de la cadena de ADN modifica el ARNm que codificará a la proteína

## La regulación de la expresión génica en los eucariotas

Los biólogos están comenzando a comprender algunos aspectos de la regulación de la expresión génica en eucariotas. Durante el desarrollo embrionario, diferentes grupos de genes se activan o inactivan en diferentes tipos de células. Una variedad de proteínas reguladoras específicas desempeña papeles centrales en la regulación de la expresión génica. Para poder iniciar la transcripción, la ARN polimerasa requiere que un grupo de proteínas, llamadas factores generales de transcripción, se ensamblen en la región promotora del gen que se va a transcribir. Esto permite la unión de la ARN polimerasa y la posterior transcripción. En un organismo multicelular, un gen parece responder a la suma de muchas proteínas regulatorias diferentes, algunas de las cuales tienden a activar el gen y otras a desactivarlo. Los sitios en los cuales se unen esas proteínas regulatorias pueden estar a centenares o miles de pares de bases de distancia de la secuencia promotora en la que se une la ARN polimerasa. Entre estas secuencias regulatorias, se cuentan las secuencias denominadas enhancers, que son amplificadores de la transcripción, a las que se unen las proteínas que activan la transcripción.

Muchas evidencias indican que el grado de condensación del ADN del cromosoma, que se observa mediante la tinción de la cromatina, desempeña un papel principal en la regulación de la expresión génica en las células eucariotas. La tinción revela dos tipos de cromatina: la eucromatina y la heterocromatina. Durante la interfase, la heterocromatina permanece condensada, pero la

euromatina se vuelve más laxa. La transcripción del ADN a ARN ocurre solamente durante la interfase, cuando la euromatina está laxa.

Algunas regiones heterocromáticas son constantes de célula a célula y nunca se expresan. Este tipo de heterocromatina se denomina heterocromatina constitutiva. Un ejemplo es la cromatina altamente condensada, localizada en la región del centrómero del cromosoma. Esta región, que no codifica para proteínas, desempeña un papel estructural en el movimiento de los cromosomas durante la mitosis y la meiosis.

Otras regiones de cromatina condensada, por el contrario, varían de un tipo de célula a otro dentro del mismo organismo, reflejando la biosíntesis de diferentes proteínas por diferentes tipos de células. Además, cuando las células se diferencian durante el desarrollo embrionario, la proporción de heterocromatina aumenta respecto de la de euromatina a medida que la célula se vuelve más especializada.

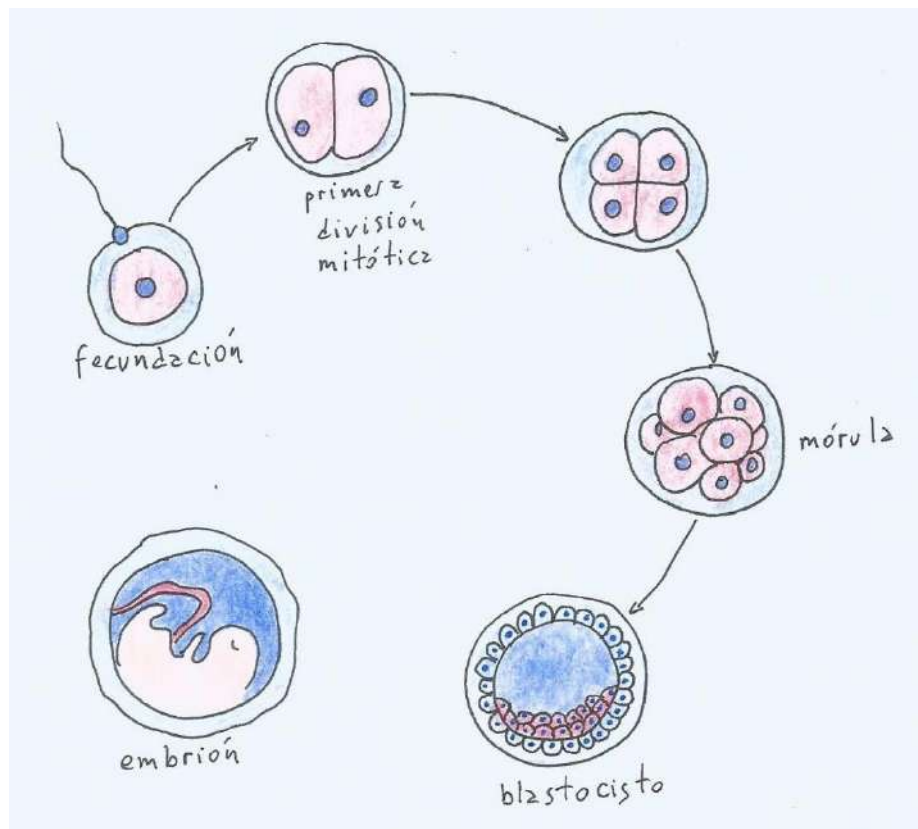
Otro factor que está involucrado en la regulación génica es la metilación de las bases nitrogenadas citosinas, que ocurre después de la replicación. La metilación diferencial de ciertos genes en ambos sexos, que ocurre durante la gametogénesis, la impronta genómica, desempeña un papel en el desarrollo temprano del embrión.

## **Unidad 4**

### **Histología, de células a tejido**

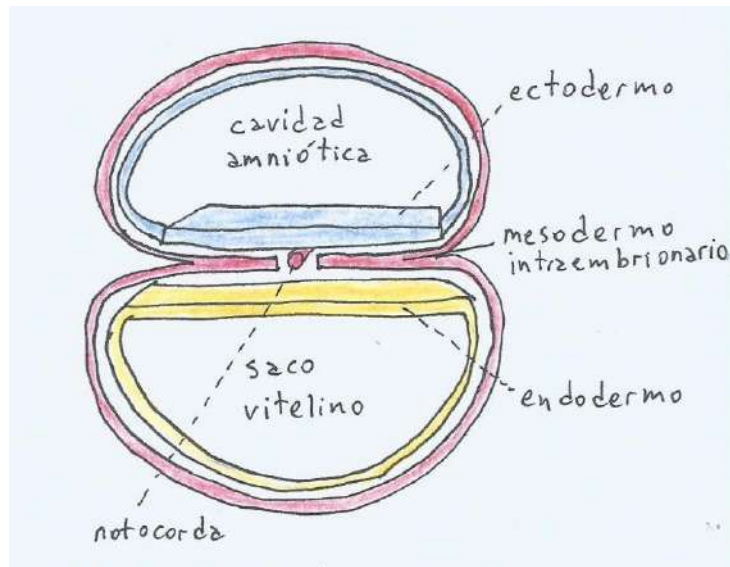
La célula es la unidad estructural fundamental que compone los distintos órganos. Estas células exhiben patrones de organización reconocibles y característicos. Esta distribución organizada es un reflejo de las interacciones entre las células que desempeñan una función particular. Por lo tanto, un conjunto organizado de células que funcionan de manera colectiva recibe el nombre de tejido.

La primera relación biológica entre dos células en el desarrollo de un organismo animal es la interacción entre los gametos, óvulo y espermatozoide que determinan la fecundación. Es una fusión celular que define un nuevo individuo, formado en un principio por una sola célula, el huevo o cigoto, seguido posteriormente por una rápida proliferación celular formando un pequeño cúmulo de células denominado mórula. Poco después en este cúmulo de células se desarrolla una cavidad formando el blastocisto, que se implanta en la pared del útero y recibe nutrición del tejido materno.



Las células centrales de la mórula constituyen la masa celular interna que originará el embrión y la masa celular externa forma el trofoblasto que contribuirá a formar la placenta. Al octavo día el embrioblasto se diferencia en dos capas, la capa hipoblástica y la capa epiblastica, estas capas juntas forman un disco plano. A continuación, las primeras células del embrión inician la diferenciación y se distribuyen en sitios definidos del organismo caracterizando la etapa de gastrulación en la tercera semana de desarrollo embrionario. La gastrulación es el proceso mediante el cual se establecen las tres capas germinativas, la capa externa o ectodermo que originará al tejido nervioso y los epitelios de revestimiento externo del embrión, la capa media o mesodermo que dará origen a la formación de los tejidos de sostén como el hueso y cartílago, el sistema cardiovascular, las gónadas, los riñones y sistema linfático y la capa interna o endodermo a partir del cual se forman los epitelios de revestimiento interno del tracto gastrointestinal y sistema respiratorio, también las glándulas tiroideas, paratiroides, hígado y páncreas.





De esta manera se organizan diferentes poblaciones celulares que comparten características morfológicas y funcionales definidas. Las combinaciones de estas células forman los diferentes tejidos, organizados en estructuras con actividades complementarias que interactúan con otras células y componentes extracelulares determinando las características propias de los diferentes tejidos.

El concepto de tejido proporciona una base para reconocer los muchos tipos celulares distintos del organismo y comprender cómo se interrelacionan. A pesar de las variaciones del aspecto general, la organización estructural y las propiedades fisiológicas de los diversos órganos del cuerpo, los conjuntos celulares que los conforman se reducen a cuatro tejidos básicos:

- Tejido epitelial: reviste la superficie del cuerpo, tapiza cavidades corporales y forma glándulas.
- Tejido conectivo, sostiene a los otros tejidos, tanto estructural como funcionalmente.
- Tejido muscular: compuesto por células contráctiles y es responsable del movimiento.
- Tejido nervioso: recibe, transmite e integra información del medio externo e interno para controlar las actividades del organismo.

Cada uno de los tejidos básicos se define por una serie de características morfológicas generales o por distintas propiedades fisiológicas. La base para definir los tejidos epitelial y conectivo es principalmente morfológica, mientras que los tejidos muscular y nervioso se definen por sus propiedades funcionales. Los mismos parámetros sirven para la definición de subclases de tejidos.

## Tejido epitelial

El epitelio es un tejido avascular compuesto por células que recubren las superficies externas del cuerpo y revisten las cavidades internas. También forma la porción secretora de las glándulas y sus conductos excretores.

Las células que forman los epitelios tienen tres características:

- Están dispuestas muy cerca unas de otras y se adhieren entre sí por medio de uniones intercelulares especializadas.
- Tienen polaridad morfológica y funcional, definiendo tres regiones, la región apical, la región lateral y la región basal. En la región apical pueden tener especializaciones que contribuyen con su función, estas especializaciones pueden ser microvellosidades, cilios o estereocilios. En la región lateral hay estructuras relacionadas con la adhesión entre células denominadas complejos de unión y en la región basal también puede haber complejos de unión entre células, a la membrana basal o a la matriz extracelular.
- Su superficie basal está adherida a una membrana basal subyacente, que es una estructura formada por proteínas y polisacáridos sintetizada por las células epiteliales.

El tejido epitelial, por su función se clasifica en epitelio de revestimiento y epitelio glandular.



## Epitelio de revestimiento

Son los que recubren las superficies corporales, formando una lámina celular continua que separa el tejido conectivo subyacente del medio externo, de las cavidades internas o de la sangre y la linfa que circula por los vasos. Sirve como barrera selectiva capaz de facilitar o inhibir el intercambio de sustancias entre el exterior o las cavidades corporales y el compartimiento de tejido conectivo subyacente.

La clasificación se fundamenta en la cantidad de estratos celulares y su morfología. Así el epitelio se describe como:

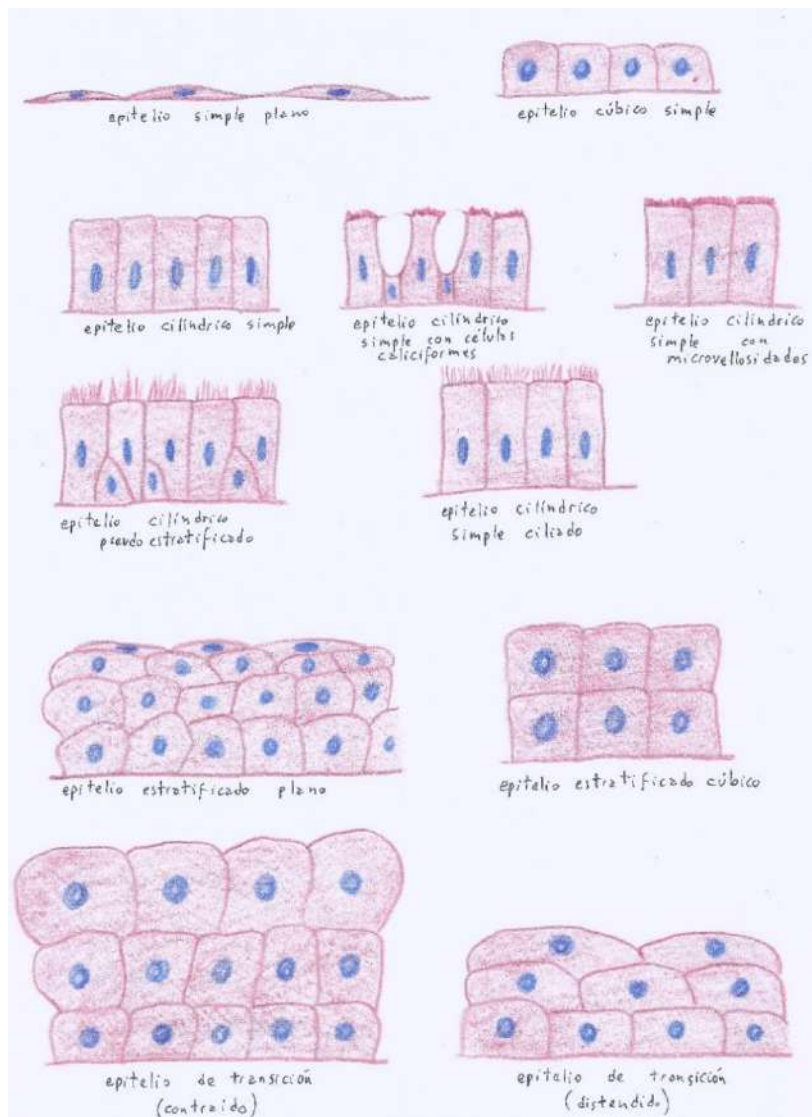
- Simple: cuando tiene un solo estrato celular de espesor
- Estratificado: cuando posee dos o más estratos celulares. Los epitelios estratificados se denominan de acuerdo a la morfología de las células de la capa superficial.

Las células individuales que componen un epitelio se describen como:

- Planas: cuando el ancho y la profundidad de las células son mucho mayor que su altura
- Cúbicas: cuando todas sus dimensiones son más o menos similares
- Cilíndricas: cuando la altura de las células es apreciablemente mayor a las otras dimensiones

El epitelio de revestimiento tiene varias funciones dependiendo de la actividad de las diferentes células que contiene. Ellas son:

- Secreción
- Absorción
- Transporte
- Protección
- Receptor de estímulos

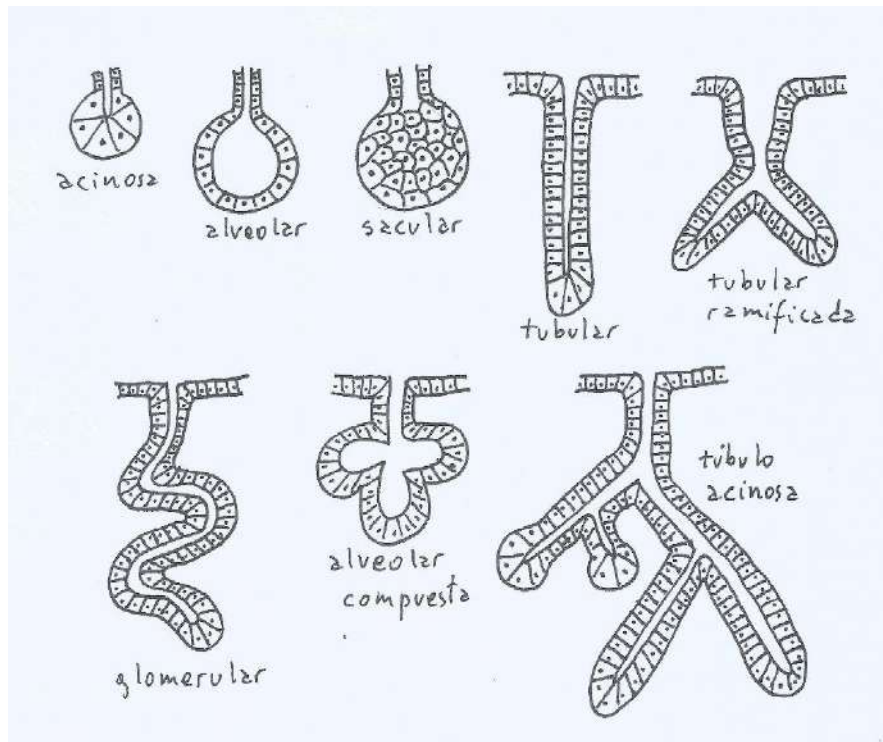


## Epitelio glandular

Las glándulas se clasifican en dos grupos según el destino de sus productos:

- Glándulas exocrinas, secretan sus productos hacia una superficie, interna o externa, a través de conductos excretores
- Glándulas endócrinas: carecen de conductos excretores, secretan sus productos hacia el tejido conectivo y se introducen en el torrente sanguíneo para alcanzar sus células blanco. Los productos de estas glándulas se llaman hormonas.

Las glándulas exócrinas pueden ser unicelulares, formadas por células secretoras individuales distribuidas entre células no secretoras. Un ejemplo de este tipo de glándula son las células caliciformes. Las glándulas exocrinas multicelulares están compuestas por más de una célula y muestran grados diferentes de complejidad. Su organización permite clasificarlas según la disposición de sus células secretoras y según sea ramificado o no el conducto excretor. La porción secretora se denomina adenómero y puede tener forma tubular, acinosa, sacular o alveolar. Si el conducto excretor no es ramificado la glándula es simple y si el conducto excretor es ramificado la glándula es compuesta.



*Tipos de glándulas exócrinas*

Por el tipo de secreción las glándulas exócrinas pueden ser mucosas si la secreción es espesa y muy viscosa o serosas si es una secreción líquida y fluída.

Las glándulas endócrinas se dividen según la composición química de sus productos de secreción, las que secretan hormonas peptídicas, derivados de aminoácidos y hormonas esteroideas. En las células glandulares endócrinas secretoras de hormonas polipeptídicas están más desarrolladas las organelas relacionadas con la síntesis proteica, es decir un RER y un aparato de Golgi bien desarrollados y las células de las glándulas secretoras de hormonas esteroideas van a tener más desarrollado el REL y almacenan colesterol que es el precursor de la síntesis de dichas hormonas.

## Tejido conectivo

El tejido conectivo se denomina también tejido de sostén, dado que representa el esqueleto que sostiene otros tejidos y órganos. También proporciona nutrición a los demás tejidos ya que contiene los vasos sanguíneos. Se caracteriza por estar formado por células y una matriz extracelular que representa la mayor parte del tejido, y se compone de fibras incluidas en una matriz amorfa o sustancia fundamental. Las fibras pueden ser de tres tipos: colágenas, elásticas o reticulares y la matriz está compuesta por glucosaminoglucanos y proteoglucanos que forman geles muy hidratados en los cuales están incluidos los demás componentes. Los numerosos tipos de células se clasifican en fijas o residentes como fibroblastos, células reticulares, células mesenquimáticas y adipocitos, y migrantes o móviles como monocitos, macrófagos, células dendríticas, linfocitos, células plasmáticas, granulocitos eosinófilos y neutrófilos y mastocitos.

Los fibroblastos son las células más numerosas y representativas del tejido conectivo, son grandes, fusiformes o aplanadas y con numerosas prolongaciones. Producen la matriz extracelular del tejido conectivo, es decir que sintetizan las fibras, los glucosaminoglucanos y proteoglucanos. También participan en el mecanismo de cicatrización de heridas.

Las células adiposas o adipocitos están presentes en todo el tejido conectivo en cantidad variable. Las células mesenquimáticas son células madre pluripotentes, de aspecto similar a los fibroblastos, pero con menor cantidad de organelas.

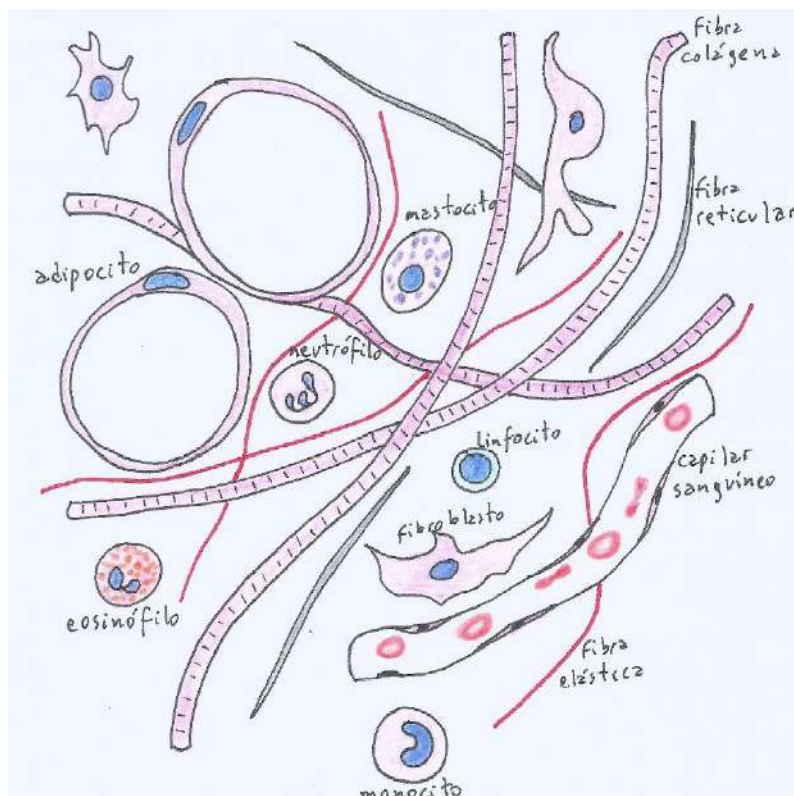
Los neutrófilos, eosinófilos, basófilos, monocitos y linfocitos son los glóbulos blancos de la sangre, se originan en la médula ósea y cumplen su función en el tejido conectivo.

Las células dendríticas son células presentadoras de antígenos.

Los plasmocitos o células plasmáticas son linfocitos B activados para la síntesis y secreción de anticuerpos.

Los mastocitos o células cebadas contienen gránulos de heparina, histamina y leucotrienos que tienen un papel importante en el comienzo de las reacciones inflamatorias.

La matriz extracelular comprende el conjunto de fibras y moléculas solubles que forman el microambiente donde están inmersas las células. La estructura y composición de la matriz extracelular le confiere diferentes funciones al tejido conectivo. Las macromoléculas hidrófilas retienen moléculas de agua y facilitan la difusión de nutrientes y desechos metabólicos a través del tejido conectivo. Las proteínas fibrosas como la elastina y el colágeno proporcionan resistencia mecánica y elasticidad al tejido. Las fibras reticulares forman redes que contienen a las células del tejido conectivo.



Componentes del tejido conectivo

Los distintos tipos de fibras, las células y la sustancia fundamental aparecen en cantidades variables y le confieren al tejido conectivo sus propiedades funcionales específicas.

Sobre la base de la cantidad relativa de componentes el tejido conectivo se clasifica en varios tipos.

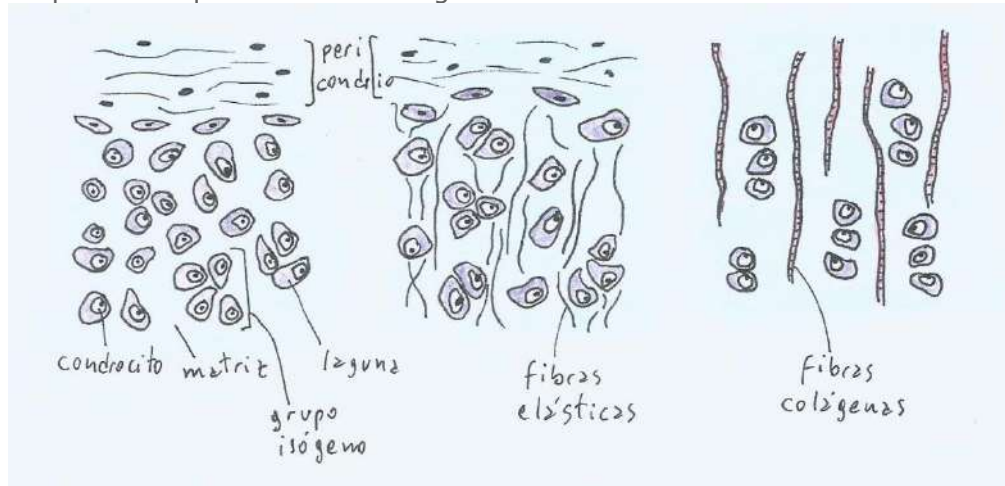
- Tejido conectivo laxo: posee gran cantidad de células, pocas fibras y mucha sustancia fundamental. Es un tejido muy irrigado e innervado
- Tejido conectivo denso: en este tipo de tejido predominan las fibras respecto a la cantidad de células y sustancia fundamental. Si las fibras están dispuestas en forma irregular, formando una red se denomina tejido conectivo denso no modelado que se encuentra en la dermis, vaina de tendones y cápsulas de muchos órganos. Si están dispuestas en forma de haces paralelos se denomina tejido conectivo denso modelado, éste tejido está presente en estructuras expuestas a fuerzas de tracción como los tendones y ligamentos.
- Tejido conectivo embrionario: este tejido tiene amplia distribución en el embrión y el feto. Tiene abundante matriz extracelular que es blanda y gelatinosa por la abundante cantidad de glucosaminoglucanos, tiene fibras colágenas finas, y escasas fibras reticulares y elásticas. Las células se denominan células mesenquimáticas. Está también en el cordón umbilical y se denomina gelatina de Wharton.

También existen otros tejidos muy especializados en su composición y funciones que al estar formados por células y una matriz extracelular se clasifican dentro de los tejidos conectivos especializados: éstos incluyen al tejido adiposo, tejido cartilaginoso, tejido óseo, tejido linfático, tejido sanguíneo y hematopoyético.

El tejido adiposo es un tejido conectivo en el cual las células más abundantes son los adipocitos, este tejido cumple funciones de almacenamiento de energía, aislamiento térmico, protección de órganos vitales y secretar hormonas.

El tejido cartilaginoso es un tipo de tejido conectivo compuesta por células llamadas condrocitos y una matriz extracelular muy especializada. Existen tres tipos de cartílagos diferenciados por la composición de la matriz extracelular:

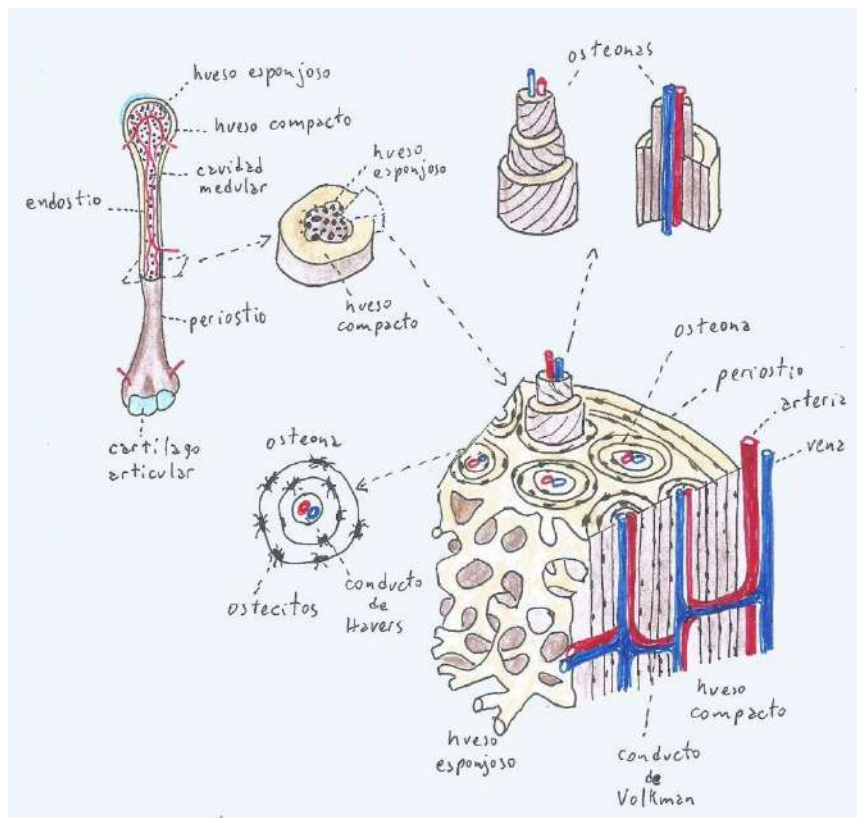
- cartílago hialino, tiene una matriz homogénea formada por fibras colágenas, proteoglucanos y glucosaminoglucanos, los condrocitos se hallan en espacios llamados lagunas
- cartílago elástico, contiene los mismos componentes del cartílago hialino y gran cantidad de fibras elásticas, también se observan gran cantidad de condrocitos
- cartílago fibroso, caracterizado por una gran cantidad de fibras colágenas además de los mismos componentes que tiene el cartílago hialino.



*Tipos de cartílago*

El tejido óseo se caracteriza por tener una matriz extracelular sólida, mineralizada con cristales de hidroxapatita, contiene gran cantidad de fibras colágenas. Sus células son las osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos, osteoclastos y células de revestimiento óseo. Existen dos tipos de tejido óseo, el tejido óseo compacto que forma una capa densa en la superficie externa de los huesos y el tejido óseo esponjoso formado por trabéculas que se encuentra en la parte interna de los huesos.

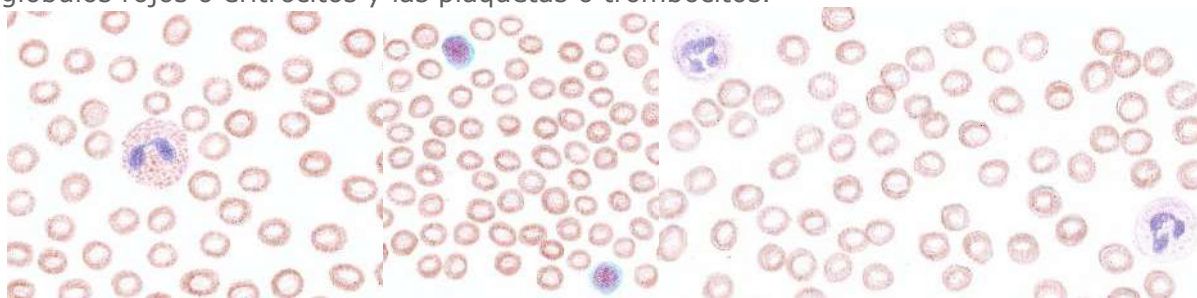




Tejido óseo

El tejido linfático tiene como principal componente a los linfocitos que forman densas masas en el tejido conectivo laxo y también en órganos linfáticos que están formados por tejido linfático difuso y nodular en la cual los linfocitos forman cúmulos densos casi esféricos.

El tejido sanguíneo es un tejido conectivo líquido que circula dentro del aparato cardiovascular, la matriz extracelular es líquida, se denomina plasma, está formado por agua, electrolitos, proteínas disueltas, sustancias nutritivas, hormonas disueltas, etc. Las células son los glóbulos blancos o leucocitos que comprenden los neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos; los glóbulos rojos o eritrocitos y las plaquetas o trombocitos.



Glóbulos rojos (sin núcleo) eosinófilo, dos linfocitos y dos neutrófilos

El tejido hematopoyético se encuentra dentro de las trabéculas del hueso esponjoso, se denomina médula ósea y es el encargado de la producción de las células sanguíneas. La médula ósea roja es el tejido hemtopoyético propiamente dicho y también podemos encontrar médula ósea amarilla formada por adipocitos.

## Tejido muscular

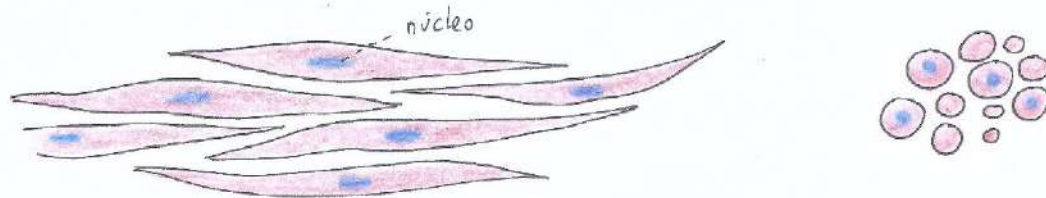
El tejido muscular es el responsable del movimiento, tanto interno como externo. Este tejido está formado por células alargadas orientadas en el sentido del movimiento.

Existen tres tipos de tejido muscular, diferenciados por su estructura y función: el músculo estriado, que puede ser cardíaco o esquelético y el músculo liso. El músculo estriado contiene secuencias bien

ordenadas de actina y miosina, proteínas responsables de la contracción y relajación del músculo, que a la microscopía óptica presentan estriaciones visibles. El músculo liso también contiene actina y miosina, pero su disposición no es visible a la microscopía óptica.

## Músculo liso

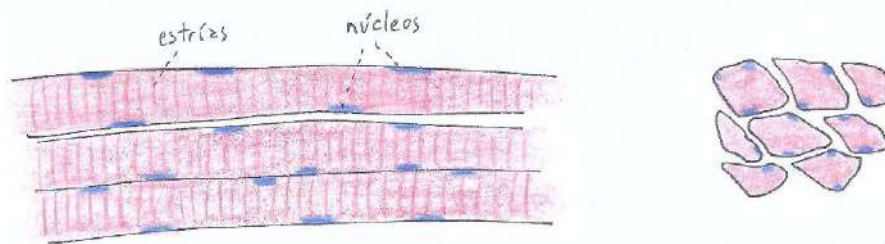
Está compuesto por células de forma ahusadas, con un solo núcleo de ubicación central. Este tejido se encuentra en las paredes de los órganos huecos, como los vasos sanguíneos, tubo digestivo, vías urinarias, etc. Es inervado por el sistema nervioso autónomo, es de contracción involuntaria.



*Corte longitudinal y transversal del músculo liso*

## Músculo estriado esquelético

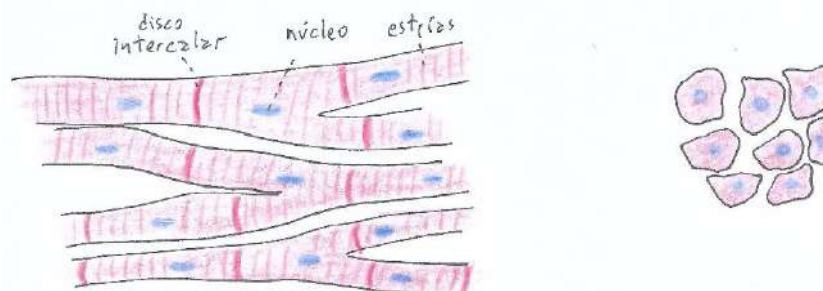
Está formado por células muy largas, cada una de las cuales contienen gran cantidad de núcleos ubicados en la periferia. Todos los músculos del aparato locomotor están formados por este tejido, es inervado por el sistema nervioso somático y se contrae voluntariamente con algunas excepciones, como los músculos que intervienen en la respiración, deglución, parpadeo y los movimientos de la musculatura del periné y el oído medio.



*Corte longitudinal y transversal del músculo estriado esquelético*

## Músculo estriado cardíaco

Compuesto por células de forma ramificada con núcleo central, como el músculo liso, unidas entre sí mediante estructuras que se denominan discos intercalares, con estriaciones transversales similares a las del músculo esquelético. Este tejido se encuentra en el corazón formando el miocardio y es inervado por el sistema nervioso autónomo.



*Corte longitudinal y transversal del músculo estriado cardíaco*

## Tejido nervioso

La función básica del sistema nervioso es regular con rapidez e integrar las actividades de las distintas partes del cuerpo. Funcionalmente, la comunicación rápida es posible porque el tejido nervioso tiene unas características de excitabilidad y conductividad mucho más desarrolladas que cualquier otro tejido.

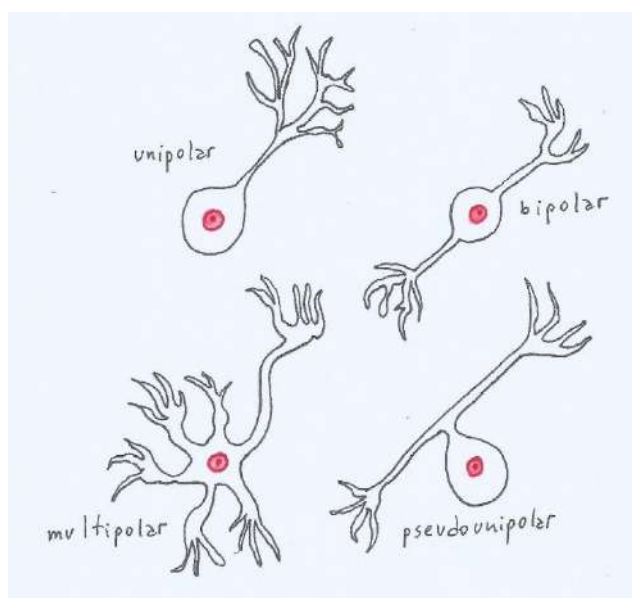


El tejido nervioso es de origen ectodérmico y está formado por dos clases de células: las células nerviosas, o neuronas, que son las unidades funcionales del sistema, y unas células especiales de conexión y sostén denominadas neuroglia.

Todas las neuronas se caracterizan por un cuerpo celular, llamado soma, y al menos dos prolongaciones: un axón, que transmite los impulsos nerviosos desde el cuerpo celular, y una o más dendritas, que transportan los impulsos hacia el cuerpo celular.

El cuerpo celular o soma contiene un núcleo con un nucléolo bien visible, citoplasma, y diversos orgánulos que mantienen a la célula. El citoplasma de la neurona se extiende por su cuerpo celular y sus prolongaciones. Una membrana plasmática encierra toda la neurona. En el cuerpo celular el retículo endoplásmico rugoso (RER) aporta moléculas de proteínas para la neurona. Algunas de estas proteínas son procesadas después y empaquetadas en vesículas por el aparato de Golgi. Algunas moléculas de proteínas de estas vesículas son necesarias para la transmisión de señales nerviosas de una neurona a otra. Estas proteínas se denominan neurotransmisores. Otras proteínas se emplean en el mantenimiento y reparación de la neurona. El soma celular contiene también muchas mitocondrias, algunas son transportadas después al extremo del axón para aportar la energía (ATP) necesaria para la transmisión de señales. Las dendritas se ramifican extensamente desde el cuerpo celular. Los extremos distales de las dendritas de las neuronas sensitivas se denominan receptores, porque reciben los estímulos que inician los impulsos nerviosos. Algunas dendritas del cerebro tienen pequeñas espinas dendríticas a modo de botones, que sirven como punto de conexión con otras neuronas. Las dendritas reciben estímulos y conducen impulsos eléctricos al cuerpo celular y/o axón de la neurona. El axón de la neurona es una prolongación única que se extiende desde una porción cónica del cuerpo celular llamada cono axónico. Los axones conducen impulsos lejos del cuerpo celular. Aunque la neurona sólo tiene un axón, este último suele tener una o más ramas denominadas colaterales axónicas y las puntas distales de los axones forman ramas llamadas telodendria, que terminan en un botón sináptico. Cada botón sináptico contiene mitocondrias y numerosas vesículas. Los axones varían de longitud y de diámetro.

Clasificadas por el número de sus prolongaciones, hay diferentes tipos de neuronas: multipolar, bipolar, unipolar y pseudounipolar.



*Tipos de neuronas*

Las neuronas se comunican entre sí y con otras células efectoras por medio de las sinapsis que son relaciones de contigüidad especializadas entre neuronas que facilitan la transmisión del impulso nervioso. Las sinapsis se producen entre axones y células musculares o glandulares.

Existen muchos tipos de neuroglia, todos con distintas estructuras y funciones. Además de dar soporte físico a las neuronas, se sabe que la neuroglia realiza importantes funciones de coordinación en el sistema nervioso.

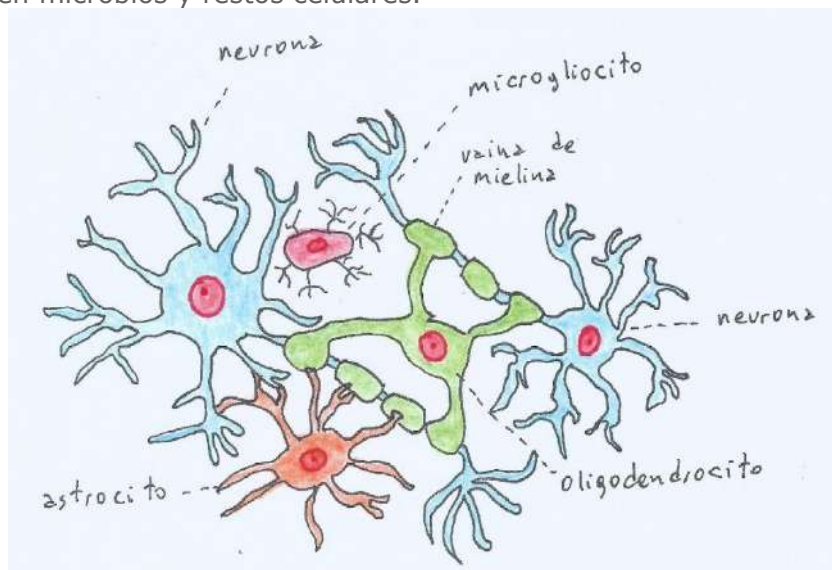
El número de células de la neuroglia en el sistema nervioso humano es 10 veces el número de neuronas. A diferencia de las neuronas, las células gliales conservan su capacidad de división celular durante toda la madurez.

Existen diferentes tipos de células de la neuroglia, y son diferentes en el sistema nervioso central y periférico.

En el SNC podemos encontrar los astrocitos, microglía, células endimarias y oligodendrocitos.

Los astrocitos tienen forma de estrella, constituyen el tipo de glía mayor y más numeroso. Sus prolongaciones comunican las neuronas y pequeños capilares sanguíneos del cerebro. Los astrocitos nutren a las neuronas al captar la glucosa de la sangre.

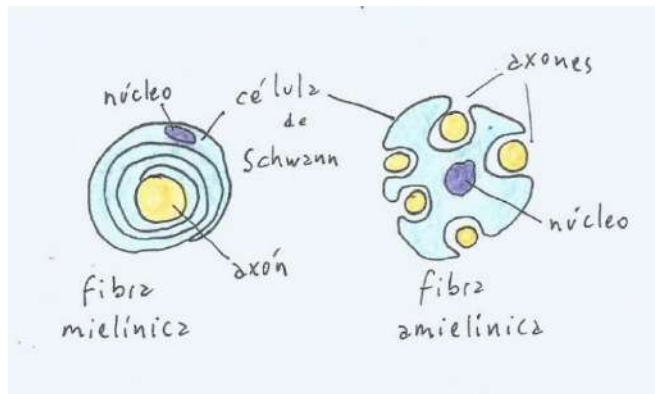
La microglía está formada por células pequeñas con capacidad de fagocitosis. En otras palabras, ingieren y destruyen microbios y restos celulares.



Las células endimarias son neuroglia que se parece a células epiteliales y forman capas finas que tapizan cavidades llenas de líquido del encéfalo y médula espinal, este líquido se denomina líquido cefalorraquídeo, es un líquido transparente de aspecto acuoso. Algunas células endimarias toman parte en la producción del líquido que llena estos espacios. Otras células endimarias tienen cilios que ayudan a que el líquido circule en el interior de las cavidades.

Los oligodendrocitos son menores que los astrocitos y tienen menos prolongaciones. Sirven para mantener unidas las fibras nerviosas y también producen la vaina de mielina, lípido que rodea las fibras nerviosas del SNC.

En el SNP encontramos dos tipos de células neurogliales, las células de Schwann y las células satélite. Las células de Schwann constituyen el equivalente funcional de los oligodendrocitos, soportando las fibras nerviosas y formando una vaina de mielina a su alrededor. La vaina de mielina está formada por capas de membrana de célula de Schwann que contienen la sustancia grasa y blanca llamada mielina. Las células satélite rodean el cuerpo celular de una neurona en órganos del sistema nervioso periférico que se llaman ganglios.



*Axones mielinizados y no mielinizados*

## Unidad 5

### Anatomía humana

La anatomía estudia la estructura del cuerpo humano y la relación entre sus partes.

La palabra anatomía procede del griego y se puede dividir en dos vocablos: "TOMOS" que significa cortar y "ANA" que significa repetidamente. Cortar repetidamente, es decir, diseccionar.

Por tanto, el material de estudio es el cuerpo humano. Otra definición de anatomía es la ciencia que estudia la estructura o morfología de los organismos vivos.

### Métodos de estudio

Método de observación directa

- Inspección: consiste en observar a simple vista.
- Palpación: tocar las estructuras anatómicas, un hueso, el pulso, etc.
- Percusión: por el sonido de ciertos órganos, vísceras, etc.
- Auscultación: percibir los sonidos del corazón, pulmones, etc.
- Endoscopia: es una visión directa de las cavidades, vísceras, etc. con un aparato.
- Disección: consiste en cortar para poder ver todo internamente.

Método de observación indirecta

- Fuente de rayos X (radiación ionizante): se observa una imagen en una película fotográfica o pantalla fluorescente. Se basa en que algunos tejidos son radiopacos.
- TAC: fuente de rayos X que nos ofrece más que una placa porque nos ofrece las imágenes en vídeo.
- Resonancia magnética: se basa en una propiedad física que hace que vibren los protones por una influencia de un campo magnético obteniéndose una imagen o vídeo.
- Ultrasonidos (ecografía): emite sonidos y recoge los sonidos de respuesta, los cuales se reflejan en un monitor, también se pueden obtener fotografías.

### Especializaciones (anatomía macroscópica)

- Anatomía descriptiva o sistémica: estudia la estructura física a partir de su organización por sistemas y describe los diferentes órganos por separado, es la base de la anatomía.
- Anatomía regional o topográfica: estudia las distintas partes o regiones del cuerpo y sus relaciones.
- Anatomía de superficie: estudia las formas y los relieves anatómicos del cuerpo, en relación con las partes más profundas y la proyección de los órganos.
- Anatomía clínica o aplicada: estudia a través de la semiología clínica la organización del cuerpo humano, es la aplicación práctica del conocimiento anatómico.
- Anatomía comparada: estudia las similitudes y diferencias en las estructuras anatómicas homólogas de los animales, incluida la especie humana.
- Anatomía funcional o fisiológica: estudia la relación entre la morfología y la función de los diferentes órganos del cuerpo.

- Anatomía macroscópica: es la anatomía general hasta donde puede ser estudiada a simple vista.
- Anatomía microscópica: estudia la estructura de células, tejidos y órganos (histología)
- Anatomía radiológica: estudia la anatomía por imágenes de diagnóstico obtenidas por esta técnica.
- Anatomía quirúrgica: es la aplicada en relación al diagnóstico y tratamiento quirúrgico.
- Anatomía patológica: es el estudio morfológico de las enfermedades.
- Anatomía del desarrollo: estudia la anatomía de la especie humana en la evolución del desarrollo humano.

## Terminología anatómica

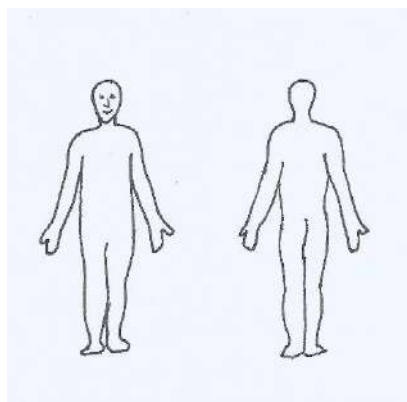
### Nómina anatómica

Es la nomenclatura sobre términos anatómicos redactada para que todo el mundo utilice los mismos términos en el lenguaje médico, facilitando la comprensión y comunicación entre profesionales de la salud. El objeto es poder definir, ubicar y orientar cada parte del organismo. En el año 1989 la Federación Internacional de Asociaciones de Anatomía (FCAT) crea un comité para establecer una terminología anatómica oficial.

La terminología anatómica oficial se encuentra redactada en latín y es usada como base para generar los listados de nombres en distintos idiomas.

### Posición anatómica de referencia

Existe una posición anatómica de referencia, la cual se refiere a un sujeto vivo, sano, en bipedestación, con las piernas ligeramente separadas, las extremidades en caída, con la palma de la mano hacia delante y con la mirada hacia el frente.



*Posición anatómica*

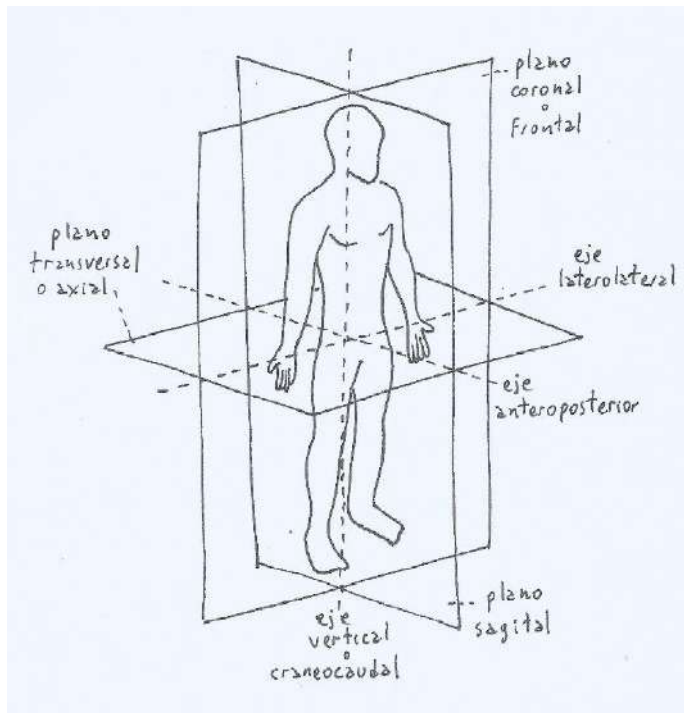
## Ejes y planos anatómicos de referencia

Ejes:

- Vertical o longitudinal: es una línea que desciende desde la parte más alta del cráneo (o vértex) que cruza todo el cuerpo en dirección vertical. Además, esta línea va a pasar por el centro de gravedad del cuerpo que es la pelvis. También se puede decir que es cráneo-caudal o superoinferior.
- Sagital: es como una flecha que atraviesa el cuerpo de adelante hacia atrás (anteroposterior), es de dirección horizontal y perpendicular a los planos coronales.
- Transverso: es de dirección horizontal y perpendicular al plano sagital.

Planos:

- Plano sagital (plano de simetría): es el plano vertical que va en sentido antero-posterior. Hay dos tipos: uno que pasa por el eje del cuerpo, plano sagital medio, que divide el cuerpo en dos mitades casi simétricas: derecha e izquierda, los otros son los planos parasagitales, que son planos sagitales pero paralelos al plano sagital medio.
- Plano frontal o coronal (paralelo a la frente): es un plano vertical pero perpendicular al sagital medio. Divide el cuerpo en una parte ventral y una parte dorsal.
- Plano horizontal: es perpendicular a los otros dos. Divide el cuerpo en distintas partes transversales.



*Ejes y planos anatómicos*

## Términos de posición

Cuando hacemos una descripción tenemos que hacerla de un elemento en referencia a otro.

La relación que existe entre diferentes elementos anatómicos:

- Anterior (ventral): que está adelante. en las manos se le llama anterior a la palma.
- Posterior (dorsal): que está detrás o cercano a la pared dorsal o a la parte posterior del cuerpo.
- Superior: un elemento que está encima con respecto a otro.
- Inferior: un elemento que está debajo con respecto a otro.
- Craneal: que está próximo al extremo superior del tronco.
- Caudal: que está próximo al extremo inferior del tronco.
- Medial: que pasa por el plano sagital medio o está próximo.
- Lateral: que se aleja del plano sagital medio.
- Proximal: que está cerca del tronco.
- Distal: que se aleja del tronco.
- Superficial: está próximo a la superficie del cuerpo.
- Profundo: se aleja de la superficie del cuerpo.
- Interno: cuando está cercano al centro de un órgano.
- Externo: cuando alejado del centro de un órgano.
- Axial: ubicado en un eje.
- Homolateral o ipsolateral: cuando dos elementos anatómicos se sitúan al mismo lado.
- Contralateral: cuando dos elementos anatómicos se sitúan a lados opuestos del cuerpo.
- Ulnar: del lado del cúbito.
- Peroneo: del lado del peroné
- Sural: relativo o perteneciente a la pantorrilla.

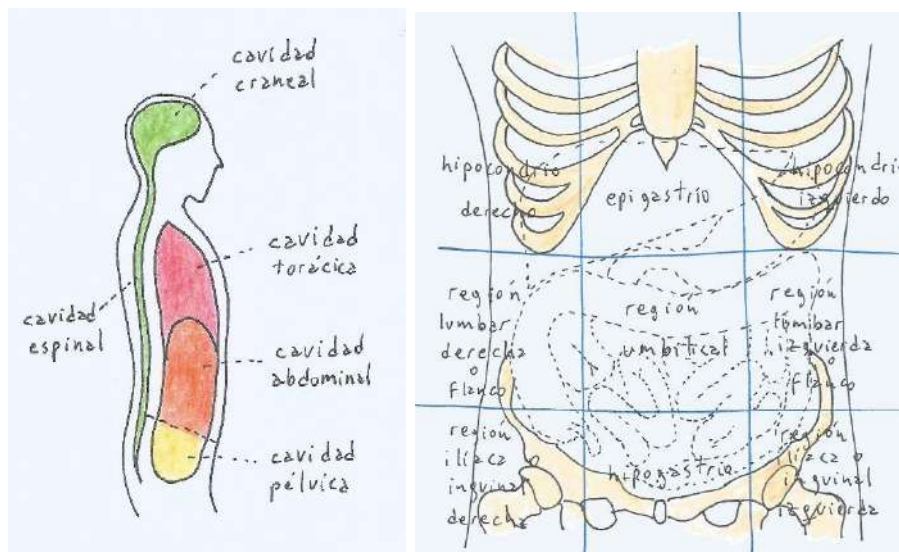
- Circunflejo: doblado alrededor de algo
- Todos estos términos pueden combinarse, como, por ejemplo: superolateral, inferomedial, etc.

## PARTES DEL CUERPO HUMANO

- Cabeza
- Cuello
- Tronco
- Miembros

### Cavidades del organismo

- Cavity craneal o cefálica: contiene el encéfalo, los órganos de los sentidos y la porción inicial del aparato digestivo y respiratorio.
- Cavity vertebral o espinal: contiene la médula espinal.
- Cavity torácica: contiene los pulmones, el izquierdo y el derecho, ubicados cada uno en un hemitórax. Entre los pulmones se encuentra otra cavity, el mediastino, que contiene el corazón, esófago, tráquea, timo, parte de la aorta, venas cavas, ganglios linfáticos y plexos nerviosos.
- Cavity abdomino-pélvica: contiene el tubo digestivo y las glándulas anexas, el bazo, las glándulas suprarrenales y el aparato urogenital. Esta cavity está cerrada por músculos, fascias y aponeurosis. En la cara anterior se pueden distinguir diferentes regiones que ayudan a ubicar en la profundidad a distintos órganos. Se establecen mediante el trazado de cuatro líneas imaginarias, dos **horizontales**, la superior pasa por el extremo anterior de las 10<sup>o</sup> costillas y otra inferior que pasa por los bordes superiores de las crestas ilíacas; dos **verticales**, que pasan por las líneas hemiclaviculares.



*Cavidades corporales y regiones de la cavity abdominopelviana*

### Fascias o aponeurosis

Es una membrana fibrosa formada por tejido conectivo que va a separar las estructuras anatómicas. Su función es de protección.

Hay una fascia superficial y otra profunda:

- La fascia superficial separa la estructura anatómica de la piel y está formada principalmente por tejido adiposo.
- La fascia profunda es la que está en contacto con otras estructuras más profundas y se extiende hacia el interior rodeando los músculos, vasos sanguíneos y otros órganos. Formada por tejido conectivo denso no modelado

### Membranas serosas



Tapizan las cavidades y recubren muchos órganos contenidos en las mismas. Las membranas serosas están formadas por dos tejidos, epitelio simple plano y tejido conectivo. Son membranas continuas únicas que recubren la pared de la cavidad, denominada hoja parietal, y la superficie de los órganos contenidos en ellas, denominada hoja visceral.

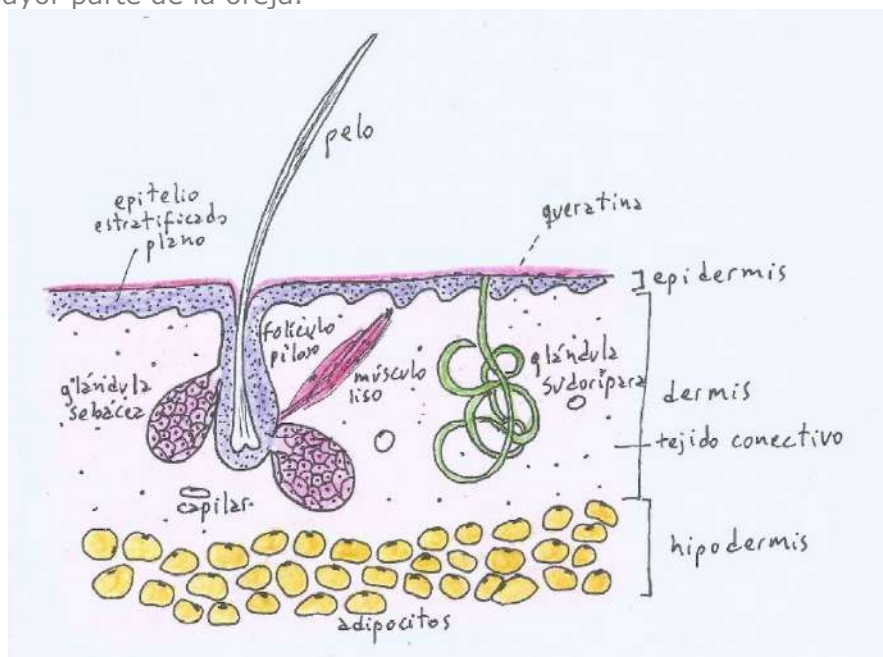
## Meninges

Están formadas por tejido conectivo que recubre el sistema nervioso central, en la parte craneal protege el encéfalo y recubre la raíz o la salida de los nervios raquídeos.

Son tres capas concéntricas: duramadre, que es la más externa; aracnoides, está en medio; y piamadre, que está pegada al sistema nervioso.

## Piel

La piel recubre toda la superficie externa del cuerpo excepto en los orificios donde se continúa con las mucosas que revisten las superficies internas. Tiene varias funciones, protección de los efectos de exposición al medio ambiente, regula la temperatura corporal, tiene el sentido del tacto, participa en la síntesis de vitamina D. Puede tener diferentes colores depende de la circulación sanguínea y de los pigmentos que contienen sus células (melanina). Está formada por diferentes capas, la más externa es la epidermis, formada por epitelio estratificado plano queratinizado. Debajo se encuentra la dermis, formada por tejido conectivo, contiene vasos sanguíneos, nervios y anexos cutáneos. Los anexos comprenden las glándulas sudoríparas, glándulas sebáceas, pelos y uñas. La capa más profunda es la hipodermis, contiene tejido conectivo laxo y tejido adiposo que sirve de aislante térmico y es reserva energética. Este panículo adiposo no está presente en los párpados, pene, clítoris y en la mayor parte de la oreja.



Capas de la piel y sus componentes

## Sistema esquelético

El esqueleto está formado por huesos unidos entre sí mediante articulaciones. El sistema esquelético es un conjunto de estructuras rígidas compuestas por cartílagos y huesos. Los huesos son estructuras duras que sirven de sostén y protección para otros órganos.

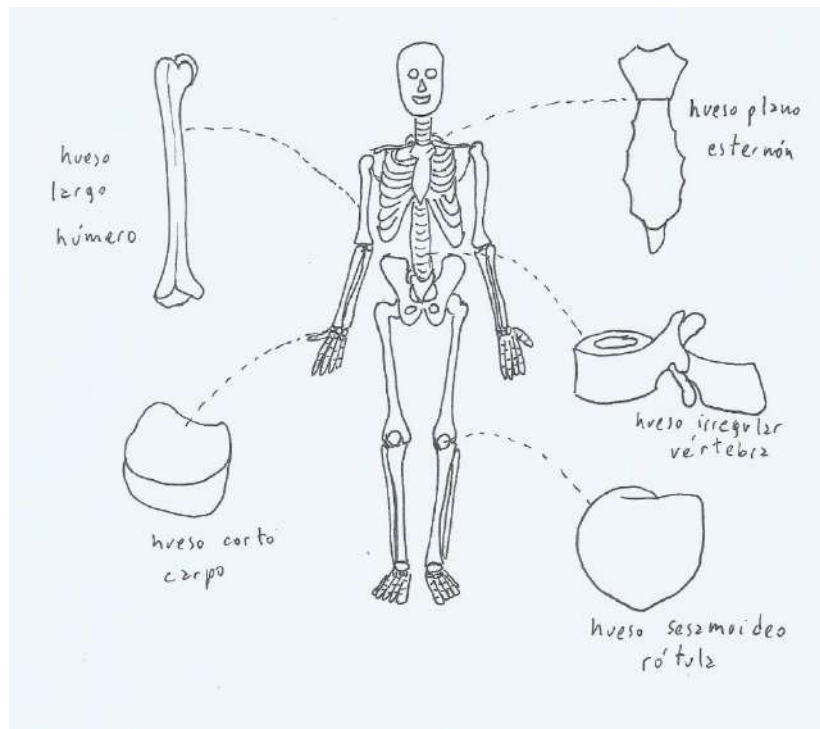
## Configuración externa de los huesos

Los huesos se presentan en distintas formas:

- Huesos largos: predomina la longitud sobre el espesor y el ancho. Constan de un cuerpo o diáfisis y de dos extremos o epífisis, la unión entre ambas partes se llama metáfisis.
- Huesos cortos: sus tres dimensiones son semejantes.
- Huesos planos: de espesor reducido, predominan el ancho y el largo.



- Huesos neumáticos: son huesos que presentan cavidades huecas.
- Huesos sesamoideos: tienen reducidas dimensiones y pueden ser inconstantes.



*Tipos de huesos*

## Esqueleto cartilaginoso

El cartílago es un tejido bastante elástico formado por condrocitos, por fibras de colágeno y elásticas, y por una sustancia fundamental que es un 75-80% de líquido y de glucosaminoglucanos y proteoglucanos.

Dependiendo de la cantidad y calidad de fibras podemos tener distintos tipos de cartílagos:

- Cartílago hialino: es de aspecto translúcido, nacarado y está distribuido por todas las articulaciones del organismo, en la tráquea, en los bronquios, costillas, en el tabique de la nariz, etc.
- Cartílago fibroso (fibrocartílago): es blanquecino, muy resistente y muy rico en fibras colágenas. Fundamentalmente está en dos sitios: en los discos intervertebrales y en la sínfisis del pubis.
- Cartílago elástico: es amarillento, muy flexible y tiene muchas fibras elásticas. Lo podemos encontrar en el cartílago auricular de la oreja, en la trompa auditiva y en la epiglotis de la laringe.

## Estructura de los huesos

El hueso es un tejido vivo que está formado por células y una matriz extracelular sólida. En el hueso, al corte se reconocen distintas porciones:

- Periostio: capa más externa que recubre todo el hueso excepto las articulaciones, formado por tejido conectivo denso no modelado.
- Hueso compacto: es la parte más dura y densa del hueso. Está formado por unas unidades llamadas osteonas, que están formadas por un canalículo en el centro que contiene vasos sanguíneos y nervios, rodeados por láminas concéntricas de colágeno y células (osteocitos) donde cristaliza la hidroxapatita (sal de fosfato de calcio) que le da solidez al hueso.
- Hueso esponjoso: es la parte más friable (que se puede romper fácilmente). Está formado por laminillas finas que forman trabéculas. Este hueso esponjoso en los huesos planos se llama diploe.

- Cavidades intraóseas: se encuentran en el interior del hueso. En ellas puede haber aire, como el etmoides en las celdas etmoidales; órganos, como el tímpano en la caja del tímpano; y médula ósea que es la que contiene las células hematopoyéticas.

## Vascularización

En la superficie de los huesos se presentan numerosos orificios, los forámenes nutricios.

Las arterias son numerosas y varían de acuerdo al tipo de hueso que se considere.

- Huesos largos: tienen tres sistemas, **diafisario**, una arteria nutricia que penetra por el foramen nutricional mayor; **perióstico**, mediante el periostio que recubre las diáfisis donde se origina una abundante red vascular y **epifisometafisario** que se origina en las arterias articulares y musculotendinosas vecinas.
- Huesos planos: se irrigan por dos tipos de arterias, **arterias periósticas**, que constituyen una red donde nacen ramas que penetran en el hueso y **arterias orificiales**, que penetran el hueso por orificios de mayor tamaño, describiendo un trayecto oblicuo.
- Huesos cortos: la irrigación procede de dos sistemas, las **arterias periósticas** y **arterias orificiales**.

Los nervios acompañan a las arterias y venas.

## Accidentes óseos

Las superficies óseas presentan una variedad de rasgos que indican sus relaciones con otros tejidos y órganos del cuerpo. Pueden servir para reforzar el hueso, articularlo con huesos vecinos, para la inserción de ligamentos o músculos y permitir el paso de vasos o nervios.

Los términos más utilizados para indicar accidentes óseos son:

- Proceso: prominencia o prolongación, protrusión alargada, puede ser de inserción
- Espina: proyección áspera o puntiaguda
- Trocánter: proceso grande truncado
- Tubérculo: eminencia más pequeña, redondeada
- Gancho: proceso con esa forma
- Línea: ligera cresta
- Cresta: arista prominente
- Cabeza: extremo grande redondeado
- Cóndilo: prominencia articular redondeada
- Apófisis: elevaciones o saliencias
- Epicóndilo: proyección por arriba de un cóndilo
- Faceta: superficie articular lisa, plana o casi plana
- Fosa: depresión profunda
- Canal: surco
- Meato: conducto
- Fisura: pasaje estrecho
- Foramen: agujero, orificio

Los huesos también pueden presentar cavidades que pueden ser articulares o no, Las cavidades articulares son depresiones esferoidales, elipsoidales o cupuliformes, con superficies lisas cubiertas por cartílago articular. Las cavidades no articulares tienen formas y funciones diversas y pueden ser de inserción de músculos o ligamentos o de recepción, en donde pasan tendones, vasos o nervios.

## Articulaciones

Las articulaciones son un conjunto de formaciones anatómicas que unen dos o más huesos, o la unión de dos o más huesos entre sí, de un hueso y un cartílago, o de un hueso y un diente.

Clasificación de las articulaciones

Según su composición:

- Articulaciones cartilaginosas: dos porciones de hueso unidas por tejido cartilaginoso, ligeramente móviles. Por ejemplo: la sínfisis del pubis.
- Articulaciones fibrosas: dos porciones de hueso unidas por tejido fibroso, no tienen movilidad por lo que son sinartrosis. Por ejemplo: sutura del cráneo.

- Articulaciones sinoviales: consta de una cavidad sinovial y una cápsula articular para unir las dos partes. Son especialmente móviles, diartrosis. Por ejemplo: la articulación del hombro.

Según su función:

- Sinartrosis: son inmóviles.
- Anfiartrosis: son semimóviles.
- Diartrosis: son móviles.

## Descripción de las articulaciones

### Sinartrosis

Las sinartrosis son uniones entre los huesos o estructuras articuladas, mediante tejido conectivo sólido o semisólido. Se clasifican de acuerdo con el tejido conectivo principal que compone la articulación:

Hay articulaciones fibrosas, por contener tejido fibroso.

Hay articulaciones cartilaginosas, por tener cartílago interpuesto.

Hay articulaciones óseas, por tener tejido óseo interpuesto.

**Articulaciones fibrosas o sinfibrosis.** Existen tres tipos:

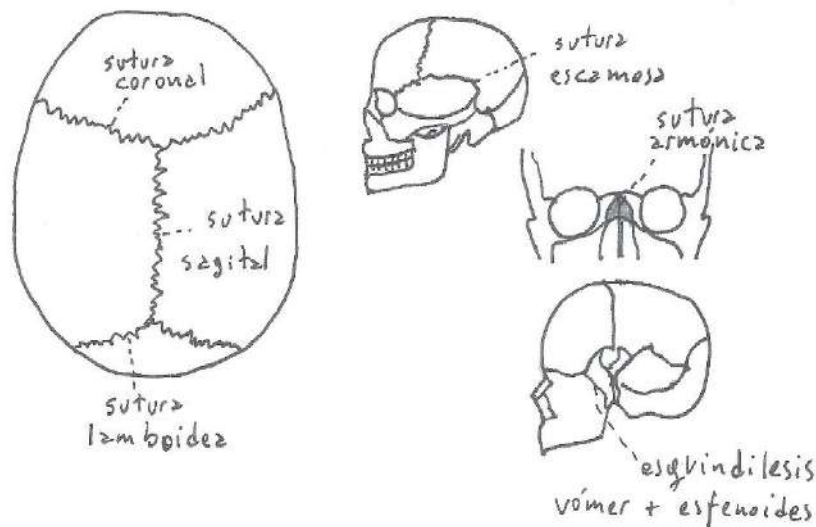
- Sutura: los huesos están unidos por tejido fibroso de fibras cortas y quedan inmobilizados. Este tipo de articulación se encuentra en los huesos del cráneo y la cara. Según la forma de las superficies articulares, se clasifican en:

Sutura plana o armónica, las superficies en contacto son planas (huesos nasales).

Sutura escamosa, las superficies en contacto son en bisel (temporoparietal).

Sutura dentada, presenta dentelladuras (sutura coronal).

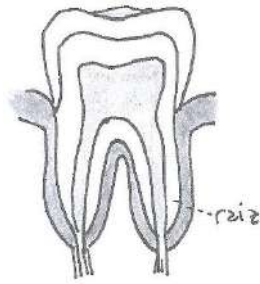
Esquindilesis, una superficie en forma de cresta se articula con una ranura (vómer y esfenoides).



*Tipos de suturas*

- Sindesmosis: unen dos huesos por tejido fibroso, en este caso las fibras son de mayor longitud (membranas interóseas o ligamentos), que permite una cierta movilidad (radio-cubital).

- Gonfosis: es una prolongación en forma de clavija o espina que se introduce en un hueco o alvéolo (une un diente y un alveolo).



### Articulaciones cartilaginosas o sincondrosis

Las superficies articulares poseen cartílago hialino o fibrocartílago que une los huesos (condrocostal) carecen de cavidad sinovial y poseen ligamentos periféricos que rodean la articulación.

### Articulaciones óseas

Las soldaduras óseas entre los huesos se denominan sinostosis, son completamente inmóviles (esfenoides-occipital, sacro)

### Anfiartrosis

En este tipo de articulaciones, las superficies articulares poseen formaciones de cartílago hialino o fibroso que los unen, carecen de cavidad sinovial y presentan ligamentos periféricos. Los movimientos son limitados y de poca amplitud (discos intervertebrales, sínfisis del pubis)

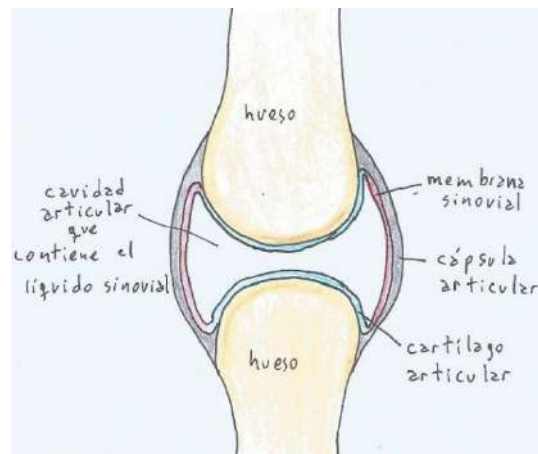


Sínfisis

### Articulaciones sinoviales o diartrosis

Son articulaciones muy móviles que presentan cavidad sinovial. Tienen en común formaciones anatómicas que se detallan:

- Las superficies óseas que articulan son de morfologías variables y recubiertas por cartílago, generalmente hialino.
- Los huesos están unidos por una cápsula articular y ligamentos
- La cápsula articular presenta un revestimiento sinovial en su cara interna, membrana que engloba toda la articulación e impide que los segmentos óseos se desplacen en exceso, también tienen ligamentos.
- Membrana fibrosa y sinovial de la cápsula: la membrana fibrosa es externa, es un manguito resistente y no elástico que proviene del periostio; y la membrana sinovial es interna, de tejido conjuntivo que se adhiere íntimamente a la parte interna de la cápsula.
- Líquido sinovial: este líquido está dentro de la cápsula, es un dializado del plasma transparente y viscoso producido por las células sinoviales, de la membrana sinovial, que se llaman sinoviocitos. Su función es lubricar la articulación y nutrirla metabólicamente.
- Menisco o disco articular: es una almohadilla de fibrocartílago que se sitúa entre las dos superficies articulares. Ejemplo: la rodilla.
- Ligamentos y tendones (los ligamentos son como cordones y los tendones son más aplanados): son prolongaciones de tejido conjuntivo que permiten aproximar los extremos de los huesos a la articulación.
- Bolsa sinovial: almohadilla cerrada que tiene membrana sinovial y líquido sinovial. Facilita la movilidad.

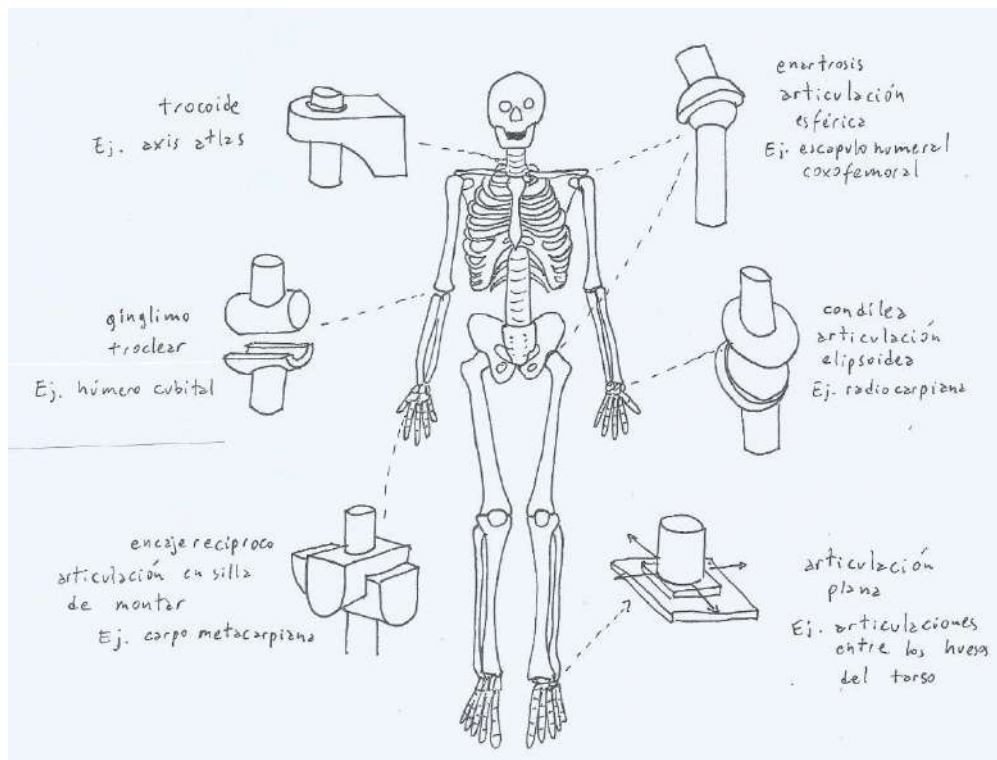


Articulación sinovial

## Tipos de diartrosis o articulaciones sinoviales

Se clasifican según los movimientos y las formas de las superficies articulares:

- Articulación esférica (enartrosis): las superficies articulares son dos segmentos de esfera, uno macizo y otro hueco. Posee movimiento en varios ejes. Ejemplo: articulación escapulo humeral o coxofemoral.
- Articulación elipsoidea (condílea): las superficies articulares son dos segmentos elipsoides; una que es un cóndilo y es cóncava, y otra que es un receptáculo y es convexa o elipsoide. Tiene movimiento en dos ejes. Ejemplo: articulación radio-carpiana, articulación femorotibial.
- Articulación en silla de montar (encaje recíproco): las superficies articulares son como una silla de montar; tiene una superficie que es cóncava en un sentido y convexa en el otro y una homóloga inversamente confeccionada. Tiene movilidad en dos ejes. Ejemplo: articulación carpo-metacarpiana, tiene movilidad en dos ejes.
- Articulación trocoide: Consiste en una prominencia de un hueso o pivote que se va a articular con un anillo o escotadura. La articulación está formada por dos segmentos de cilindro, uno que es macizo y otro hueco que es el anillo. El movimiento es en un solo eje, en eje vertical. Ejemplo: radiocubital proximal
- Gínglimo (troclear): Está constituida por dos superficies, una con forma de polea, en cuya garganta se aloja la saliente de la superficie articular opuesta. Se la puede describir como una bisagra. Tiene movilidad sólo en un eje. Ejemplo: articulación humerocubital.
- Articulaciones planas: Enfrenta a dos superficies planas. Movilidad en varios ejes, pero con limitaciones. Ejemplo: apófisis articulares de las vértebras.



*Tipos de articulaciones sinoviales*

## Vasos y nervios de las articulaciones

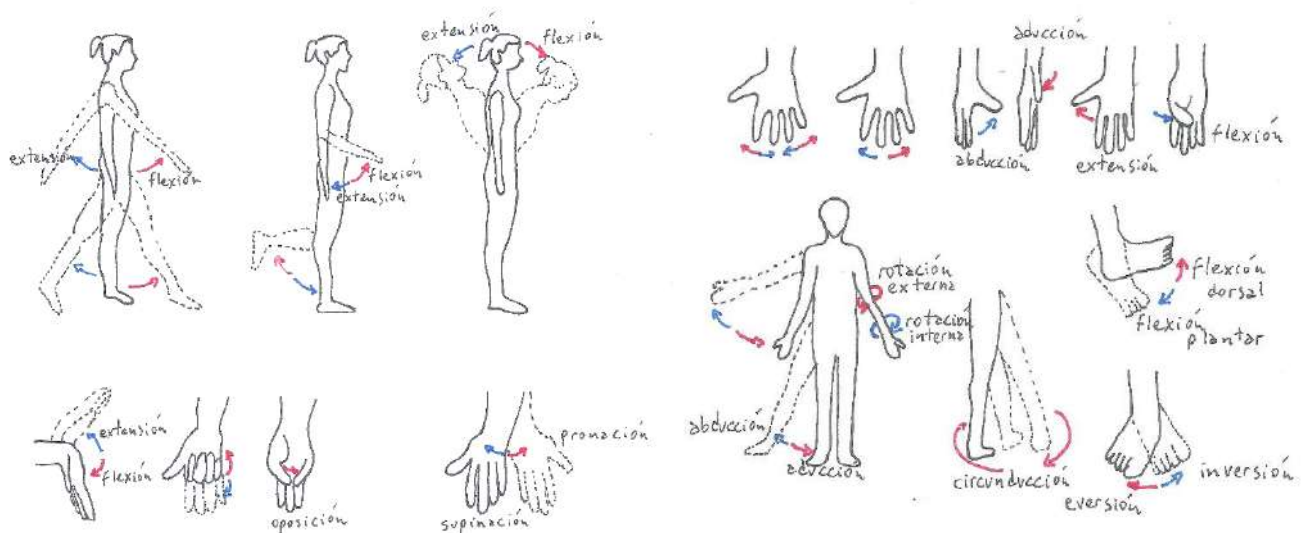
La zona de la articulación está muy vascularizada. Las arterias son muy numerosas, las venas siguen a las arterias y también hay gran cantidad de linfáticos.

La inervación está dada por los nervios periarteriales, las articulaciones poseen inervación propia, somática o autónoma. Los nervios forman una amplia red y terminan en corpúsculos sensitivos. Esta rica inervación confiere a las articulaciones extrema sensibilidad al dolor y propioceptiva.

## Movimientos articulares

Se refieren al estudio de los desplazamientos de las superficies articulares entre sí. Son los siguientes:

- Flexión: indica la disminución del ángulo formado por dos huesos, es acercarlos.
- Extensión: es contrario al anterior, es el aumento del ángulo formado por dos huesos.
- Abducción: que se aleja del plano sagital, separar.
- Aducción: aproximación, que se dirige hacia el plano sagital
- Rotación: movimiento de un segmento alrededor de un eje.
- Pronación: movimiento del antebrazo y la mano que rota al radio medialmente, de manera que la palma queda hacia atrás.
- Supinación: movimiento del antebrazo y la mano que rota el radio lateralmente, de manera que la palma queda hacia adelante.
- Circunducción: este movimiento resulta de la sucesión de los movimientos precedentes. Puede ser hacia atrás o adelante.
- Oposición: en este movimiento se aproxima el pulpejo del pulgar al pulpejo de otro dedo.
- Elevación: mueve algún segmento hacia arriba
- Descenso: mueve algún segmento hacia abajo
- Eversión: movimiento que aleja la planta del pie del plano medio del cuerpo
- Inversión: aproxima la planta del pie al plano medio del cuerpo.



Movimiento de las articulaciones

## Mecánica articular

Las diversas piezas del esqueleto son semejantes a palancas y poseen como ellas un punto de apoyo, una potencia y una resistencia.

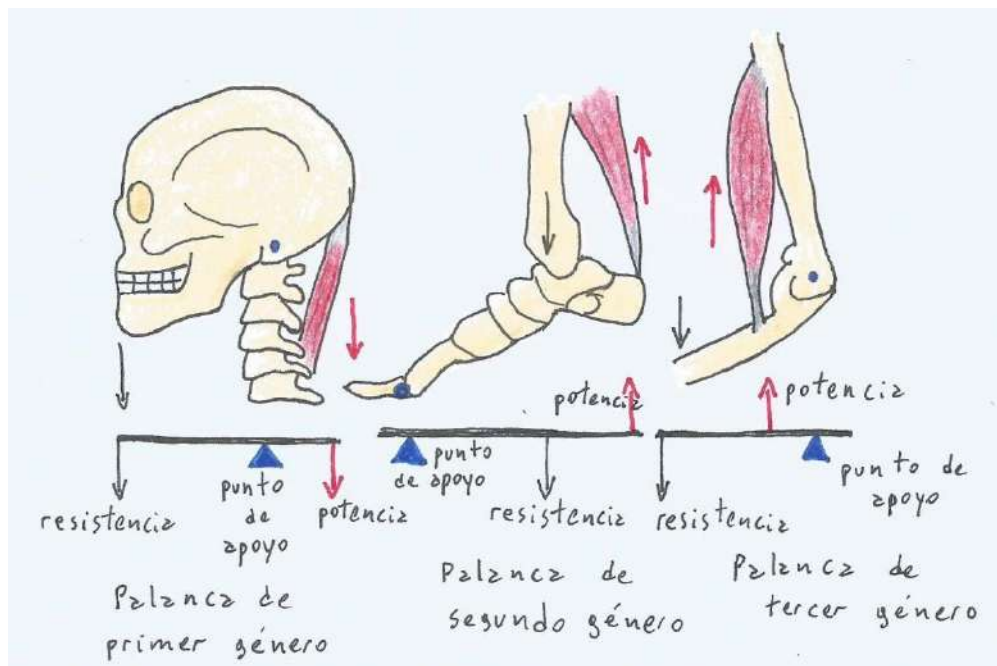
El punto de apoyo es el punto inmóvil en torno del cual gira la palanca. En el ser humano lo constituye la articulación. La potencia es la fuerza que impulsa a la palanca a desplazarse, está representada por el músculo o los músculos que se insertan en ella. La resistencia es la fuerza que se debe vencer. Así, en el movimiento de flexión del antebrazo sobre el brazo, la palanca está constituida por los dos huesos del antebrazo, el punto de apoyo es la articulación del codo, la potencia agrupa los músculos bíceps braquial y braquial y la resistencia está representada por el antebrazo, la mano y lo que ésta debe levantar. De acuerdo con la ubicación del punto de apoyo y de los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia se distinguen en mecánica tres géneros de palanca:

Palanca de primer género: es aquella en la que el punto de apoyo (A) está situado entre el punto de aplicación de la resistencia (R) y el de la potencia (P). La articulación de la cabeza con la columna vertebral corresponde a este tipo.

Palanca de segundo género: es aquella en la que el punto de aplicación de la resistencia (R) está situado entre el punto de apoyo (A) y la aplicación de la potencia (P). Es lo que sucede cuando se levanta el talón, elevándose sobre las puntas de los pies.

Palanca de tercer género: en ella se encuentra una potencia (P) aplicada entre el punto de apoyo (A) y el punto de aplicación de la resistencia (R). Este tipo de palanca es el más numeroso en el organismo, en particular en los miembros.





Tipos de palanca

Las nociones elementales de mecánica precedentes permiten interpretar la acción de los músculos: cuando se conocen sus inserciones y sus relaciones articulares es fácil prever su acción. Por ello se habla de músculos flexores, extensores, rotadores (mediales o laterales), abductores o aductores. Independientemente de esta acción como palanca, algunos músculos periarticulares actúan sobre las superficies articulares manteniéndolas en contacto y reforzando la acción puramente pasiva de los ligamentos fibrosos; ellos se comportan así como verdaderos ligamentos activos de la articulación. Esto es notable sobre todo en la articulación escapulohumeral. Cada músculo considerado de manera aislada posee una acción que le es propia.

## Esqueleto óseo

En el adulto pueden distinguirse 206 huesos, sin considerar los huesos suturales del cráneo ni los sesamoideos. El número de huesos varía con la edad, en el niño el hueso frontal comprende dos piezas que luego se fusionan, lo mismo con el hueso coxal que consta de tres piezas que también se fusionan con el tiempo. En la vejez los huesos pueden soldarse, especialmente los del cráneo, lo que disminuye su número.

El esqueleto óseo se arma en torno a un eje vertical, la columna vertebral. Su parte superior sostiene al cráneo, en la parte media se separan a ambos lados unos arcos óseos, las costillas, que se articulan con el esternón para formar la caja torácica. A esta estructura se une la cintura escapular que sostiene a los miembros superiores. En la parte inferior de la columna vertebral se une la cintura pelviana que da sostén a los miembros inferiores.

## Esqueleto de la cabeza

Los huesos de la cabeza en conjunto forman el cráneo, constituido por dos partes, el neurocráneo, caja ósea que contiene y protege al encéfalo, y el viscerocráneo o esqueleto facial, que aloja la mayor parte de los órganos de los sentidos y al comienzo de los sistemas respiratorio y digestivo. Son 28 huesos en total y sin los del tímpano son 22. En los adultos estos huesos están fusionados por las suturas, que son articulaciones de tejido fibroso inmóviles. Los fetos y recién nacidos tienen unos orificios o estructuras membranosas que son las fontanelas, que están en los huesos planos del techo o bóveda de la cabeza. Tienen estas fontanelas porque los huesos se deforman en el canal del parto y también porque permiten el crecimiento del cráneo post-natal. Durante el primer año de vida se cierran las fontanelas, en la 2ª década comienza la osificación final y esta finaliza en la 5ª década.

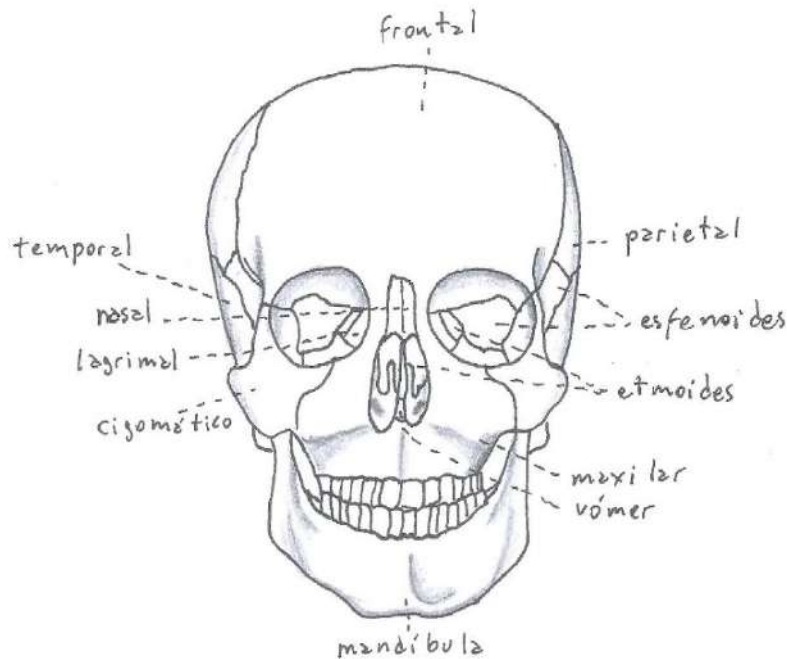
Debe estudiarse diferenciando tres porciones: la **calvaria**, la **base del cráneo** y el **esqueleto facial**.

- La calvaria está limitada, abajo, por un plano que pasa por delante y encima de los arcos superciliares, lateralmente por el arco cigomático y termina atrás en la protuberancia occipital externa. Los huesos que participan en su formación son: la escama del frontal, adelante, la escama del occipital atrás y entre ambos y a los costados, los dos parietales, la porción escamosa de los temporales y las alas mayores del esfenoides a cada lado. Estos huesos se hallan unidos en la línea media por la sutura sagital, adelante y lateralmente por la sutura coronal y atrás por la sutura lambdoidea.
- La base del cráneo presenta dos caras, la superficie externa que no tiene relación con el encéfalo y la superficie interna que se relaciona con la base del encéfalo. En esta última cara encontramos la fosa craneal anterior, la fosa craneal media y la fosa craneal posterior.
- El esqueleto facial está formado por los huesos de la cara, también llamado viscerocráneo, forman como un macizo ya que están todos unidos, excepto la mandíbula y a su vez estos huesos se unen al neurocráneo. Los huesos de la cara (o viscerocráneo) está formado por: los huesos nasales, los palatinos, los lagrimales, el cigomático, maxilares, los cornetes nasales inferiores, el vómer y la mandíbula. Estos huesos son importantes porque dan forma a la cara y además dan los límites de la cavidad orbitaria, de la nasal y la oral. Además, dan entrada al aparato respiratorio y digestivo.

## Vistas del cráneo

### Vista anterior del cráneo

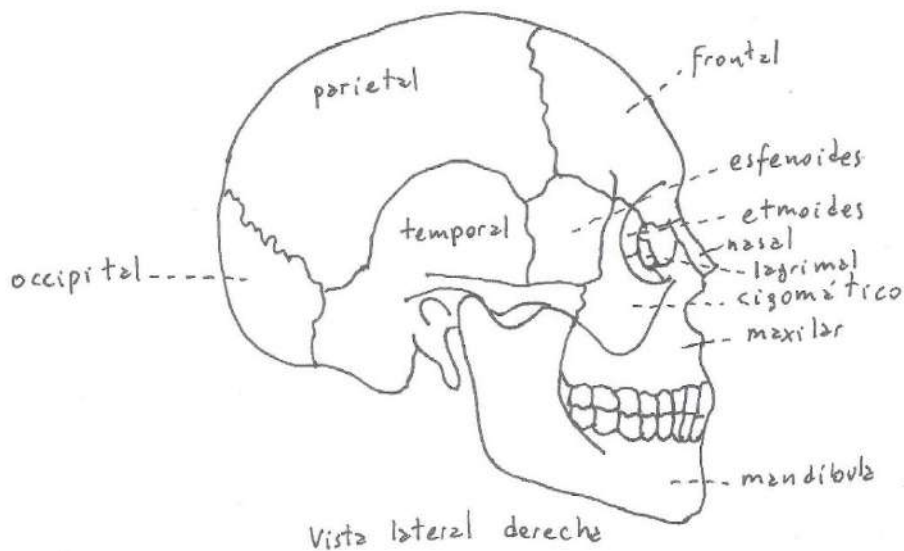
- Zona superior: es la frente y está formada por el frontal.
- Zona inferior: son las órbitas, la región nasal (entre la órbita y el maxilar) y la región oral (entre el maxilar y la mandíbula).



Vista anterior del cráneo

### Vista lateral del cráneo

- Neurocráneo: el frontal, los parietales, el occipital, el esfenoides y los temporales.
- Esqueleto facial: nasal, maxilar, cigomático y la mandíbula.

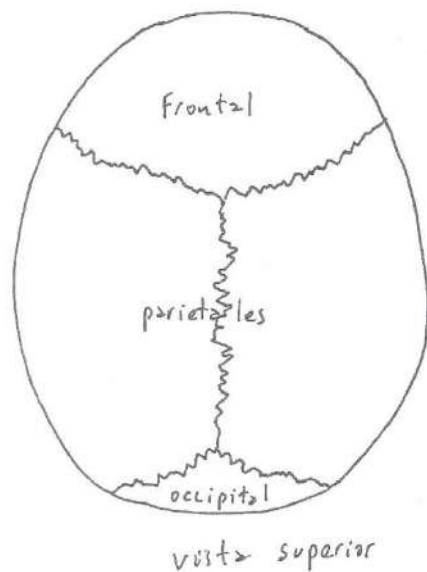


### Vista posterior

El hueso occipital, los parietales y el temporal.

### Vista superior

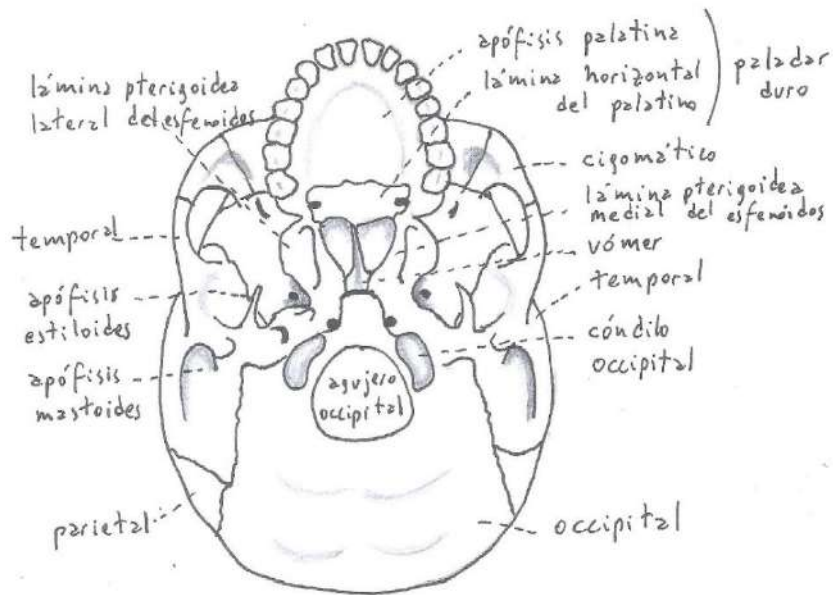
- En la región anterior está el hueso frontal que se articula con los huesos parietales mediante la sutura coronal.
- Los dos huesos parietales se articulan en la línea media entre sí a través de la sutura sagital.
- En la región más posterior los huesos parietales se articulan con el occipital por medio de la sutura lambdaidea.



Vista superior del cráneo

### Vista inferior

- En la parte anterior encontramos la arcada dentaria (dientes) y el paladar óseo.
- La región media se extiende desde el borde más posterior del paladar duro hasta el borde anterior del agujero magno.
- La parte posterior va desde el borde anterior del agujero magno hasta las líneas nucales superiores.



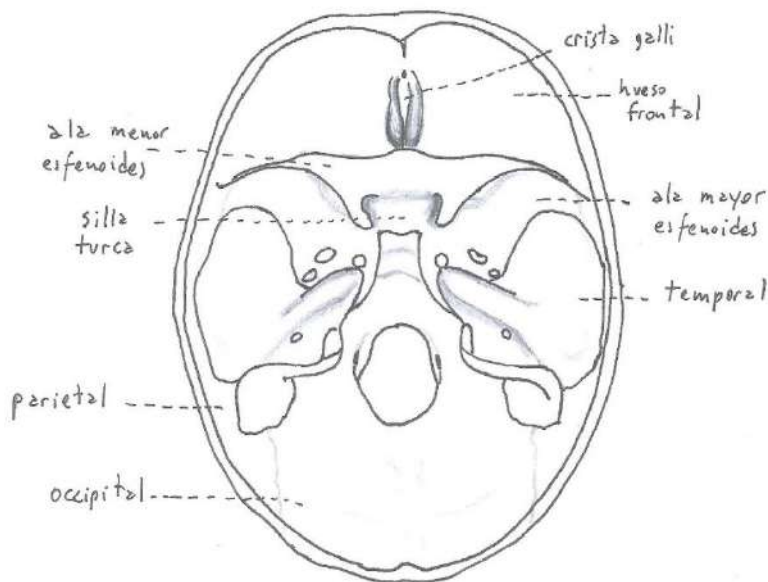
Vista inferior del cráneo

## Cavidad craneal

Es el espacio limitado por los huesos del cráneo, en el que se va a albergar el encéfalo.

Está limitada por una porción superior, la calvaria y una porción inferior o base:

- Calvaria: es la cúpula que protege la superficie cerebral superior; está formado por el hueso frontal, ambos parietales, parte de los temporales y el occipital.
- Base del cráneo: está formado por la fosa craneal anterior, media y posterior.
  - Fosa craneal anterior: está formada por la lámina cribosa, la apófisis crista-galli (etmoides), una porción horizontal del hueso frontal y las alas menores del esfenoides. Contiene los lóbulos frontales.
  - Fosa craneal media: está formada por el cuerpo del esfenoides, las alas mayores del esfenoides, la porción escamosa del temporal y la porción petrosa del temporal. Contiene los lóbulos temporales.
  - Fosa craneal posterior: está formada por una porción del cuerpo del esfenoides, por la porción basilar del hueso occipital, por la porción mastoidea o petrosa del temporal y una parte de la porción escamosa del occipital. En la fosa tenemos el agujero magno u occipital que está en la porción basilar del occipital. Contiene el cerebelo y está relacionado a través del agujero magno con el tronco encefálico, que es el que une la médula espinal y el cerebro.

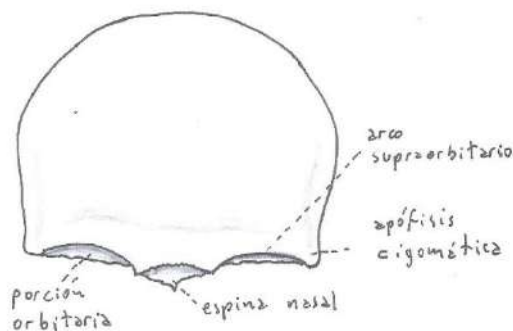


Vista superior del suelo de la cavidad craneal

## Descripción de los huesos del cráneo

### Frontal

Es un hueso impar, mediano y simétrico que ocupa la parte anterior del cráneo. Une el neurocráneo con el viscerocráneo y forma parte de las cavidades orbitarias y nasales. Contiene dos cavidades que se abren en las cavidades nasales (senos frontales). En él podemos distinguir una porción vertical en donde vemos la frente, y una porción horizontal en donde se encuentran el techo de las órbitas y además forma parte del suelo de la fosa craneal anterior. El hueso frontal se articula con los huesos parietales a través de la sutura coronal, con los huesos nasales a través de la sutura frontonasal y también se articula con el hueso cigomático y por dentro con los huesos etmoides y esfenoides. Si vemos el hueso frontal aislado en una vista anterior su cara externa tiene forma de escama. En el borde inferior tendremos a ambos lados las porciones orbitarias, en el medio tenemos la porción nasal y en los extremos tenemos unas apófisis que son las apófisis cigomáticas que se van a articular con el hueso cigomático. En la vista inferior se ve la parte horizontal y tenemos en el medio una porción nasal que se sitúa entre las porciones orbitarias. La porción nasal se articula con el etmoides por eso esta cara se llama orbito nasal. La cara endocraneal en la porción vertical es igual y en la porción horizontal va a formar parte de la fosa craneal anterior.



Hueso frontal

### Parietal

Es un hueso par, forman la bóveda craneana y se unen en la línea media mediante la sutura sagital. Tienen forma cuadrangular. En la parte posterior se unen con el hueso occipital mediante la sutura lambdoidea y en la parte anterior se unen con el frontal por la sutura coronal. Lateralmente se relacionan con el hueso esfenoides y el temporal. Los huesos parietales tienen la función de proteger los lóbulos parietales del cerebro.

Tienen dos caras:

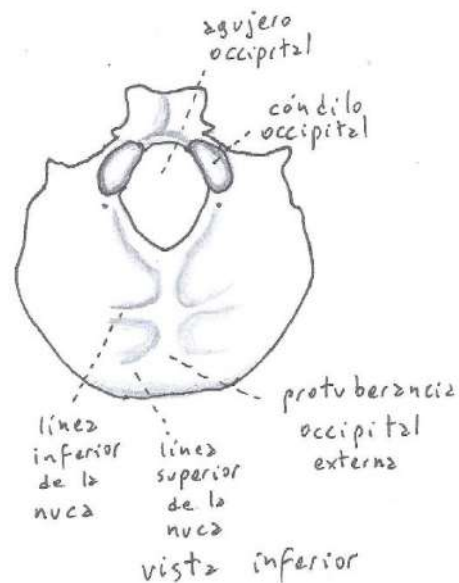
- Cara externa: exocraneal y convexa.
- Cara interna: intracraneal, en relación con los lóbulos parietales del cerebro, en su superficie tiene surcos que se ramifican como nervaduras de una hoja de higuera



Hueso parietal

## Occipital

Hueso único, mediano y simétrico, corresponde a la parte posteroinferior del cráneo. Podemos distinguir dos caras: una posteroinferior, exocraneal que se desarrolla alrededor del foramen magno, por el cual la cavidad craneal comunica con el conducto vertebral; y la cara anterosuperior, intracraneal y cóncava. La porción basilar del occipital y una parte de la escamosa forman la fosa craneal posterior, la cual va a contener el cerebelo. En la cara inferior del occipital, a ambos lados del agujero nos encontramos unos cóndilos laterales que se van a articular con la 1ª vertebra atlas formando la articulación occipitoatlantoidea.



Hueso occipital

## Temporal

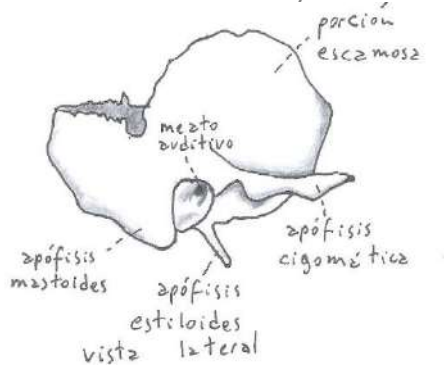
Es un hueso par. Lo vemos desde la cara lateral y está situado en la parte inferior y lateral del cráneo. Contiene el órgano vestibulococlear. En el feto y recién nacido está formado por tres piezas óseas diferentes: la **porción escamosa**, lámina delgada de contorno semicircular, que se encuentra por arriba y lateralmente; la **porción timpánica**, situada por debajo de la anterior con forma de semicanal abierto hacia arriba y la **porción petrosa**, situada por detrás, abajo y medial a las otras dos, dirigida al centro de la base del cráneo. En el adulto forman un solo hueso.

La escama se encuentra en la porción basilar, concretamente en la fosa basilar media. Esta porción escamosa va a emitir una proyección llamada apófisis cigomática. La apófisis cigomática se articula



con el hueso cigomático; esta apófisis va a dar lugar a un arco que se llama arco cigomático. Debajo de la apófisis cigomática tenemos una fosa que es la fosa mandibular, esta es una cavidad glenoidea que va a acoger el cóndilo de la mandíbula formando la articulación temporomandibular. La porción timpánica y la petrosa van a formar conjuntamente el conducto auditivo externo que da cavidad a los órganos del oído interno.

Debajo y detrás de la escama del temporal encontramos la apófisis mastoides. En la cara inferior del hueso temporal encontramos otra apófisis con forma de punta que se llama apófisis estiloides, que está delante de la apófisis mastoides. Estas dos son muy importantes porque en ellas se insertan unos grupos musculares muy importantes de la cabeza y del cuello.



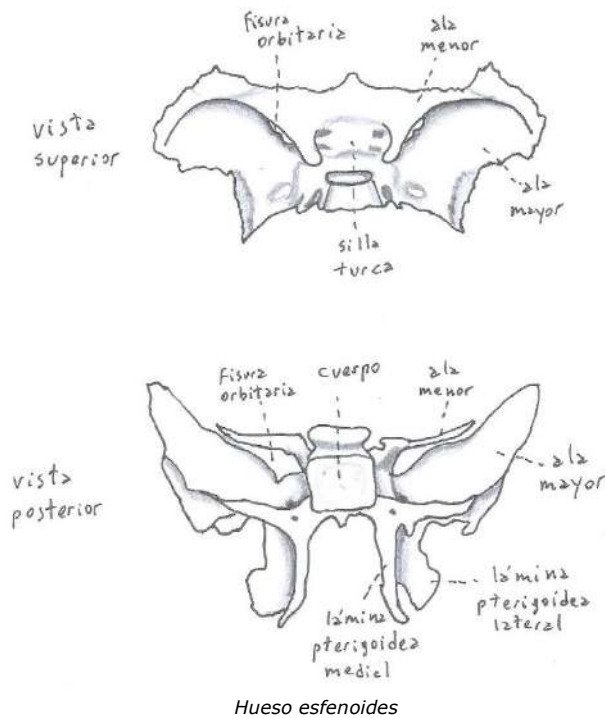
*Hueso temporal*

## Esfenoides

Hueso impar mediano y simétrico, situado como una cuña en la base del cráneo. Presenta un cuerpo central del que se separan las alas menores, las alas mayores y la apófisis pterigoides. El hueso esfenoides se sitúa en la base del cráneo a nivel de la fosa craneal media, está delante de los huesos temporal y occipital, y va a estar detrás del hueso etmoides y de la parte horizontal del frontal. El esfenoides en la cara lateral del cráneo se va a articular con el frontal, con los parietales y el temporal para formar la fosa temporal. Además, el esfenoides va a formar parte del techo de la órbita.

El esfenoides se divide en cuatro partes:

- Cuerpo: se sitúa en el centro de la fosa craneal media, este cuerpo tiene una parte superior que es la silla turca en la que se aloja la glándula hipófisis.
- Alas menores: son unas proyecciones laterales que salen de la parte lateral del cuerpo, estas alas forman parte del techo de la órbita y van a formar parte de la fosa craneal anterior.
- Alas mayores: son proyecciones laterales que salen de la parte inferior y que forman parte de la fosa craneal media.
- Apófisis pterigoides: son unas proyecciones laterales que salen en la cara inferior y en la parte inferior del cuerpo; son muy importantes porque en ellas se insertan los músculos pterigoides que son los masticadores.

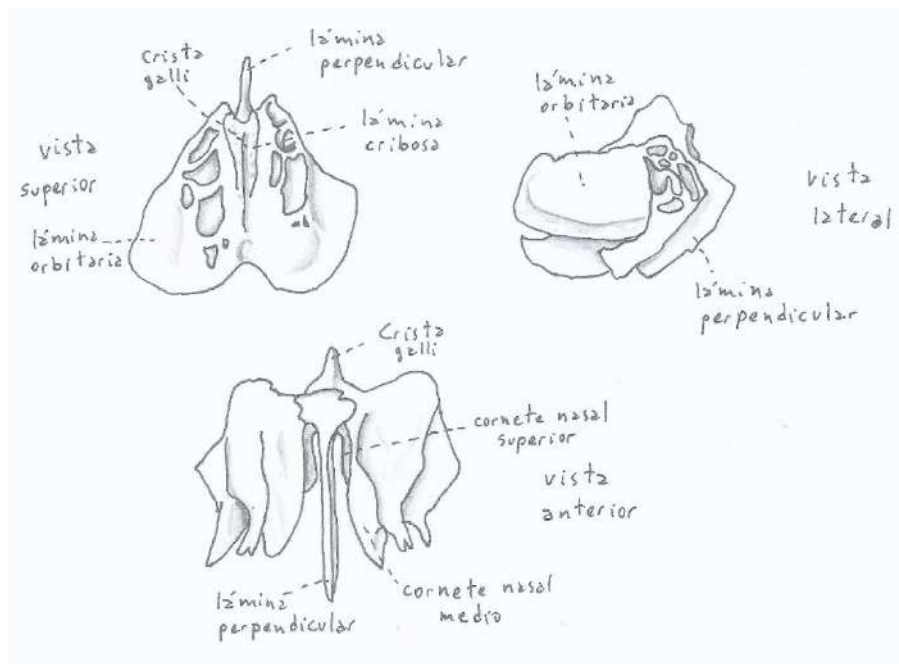


Hueso esfenoides

## Etmoides

Hueso único, mediano y simétrico, situado por delante del esfenoides y por detrás de la escotadura etmoidal del hueso frontal. Contribuye a la formación de las cavidades orbitarias y nasales. Está formado por tres partes: una lámina vertical, una lámina horizontal y dos masas laterales (a ambos lados).

- Lámina perpendicular (vertical): está dividida en dos partes por la lámina horizontal. La lámina superior tiene una porción superior que se llama apófisis crista-galli, esta apófisis la podemos ver en la fosa craneal anterior y es muy importante porque en ella se inserta un tabique sagital de duramadre, que va entre la hendidura interhemisférica y va a ir hasta el otro extremo del cráneo que es la protuberancia occipital interna. Debajo de la lámina horizontal hay otra porción de la vertical que se llama lámina perpendicular del etmoides. Esta lámina lo que hace es situarse en la línea media de las fosas nasales dividiéndolas en dos, articulándose con el hueso vómer y formando entre ambos el tabique nasal.
- Lámina cribosa (horizontal): está surcada por un montón de orificios, por eso se llama lámina cribosa. Por esos orificios pasan vasos y nervios para vascularizar e inervar las fosas nasales, por ejemplo: pequeñas ramitas del bulbo olfatorio.
- Laberintos etmoidales (masas laterales): están a ambos lados; van desde la lámina horizontal. Forman parte de la pared interna de la órbita y de las paredes laterales de las fosas nasales. En la parte más interna de las masas laterales, hacia las cavidades nasales, va a haber unas prominencias que se llaman cornetes. Estos cornetes se dividen en cornete superior e inferior (con respecto al etmoides, pero realmente son 3 y este sería el medio).



Hueso etmoides

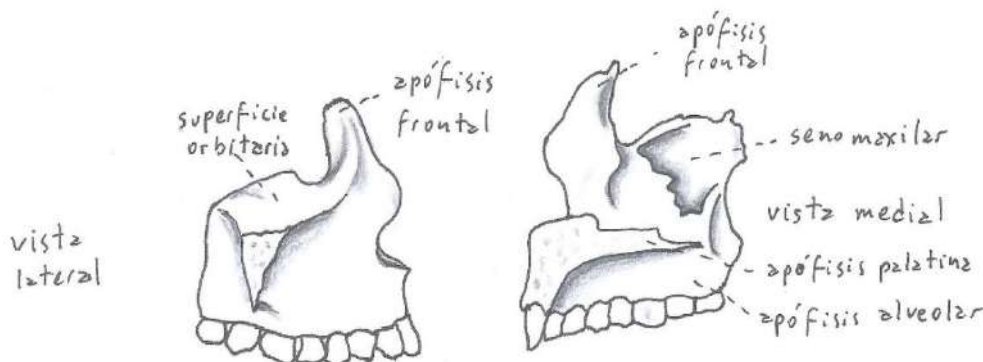
## Descripción de los huesos de la cara

Los huesos de la cara son 14: vómer, 2 maxilares superiores, maxilar inferior o mandíbula, 2 nasales, 2 lacrimales, 2 palatinos, 2 cornetes inferiores, 2 cigomáticos o malares.

### Maxilar

Hueso par que forma parte de la órbita, la bóveda palatina, cavidades nasales y la fosa infratemporal. Para estudiarlo de una forma más sencilla lo dividimos en una porción horizontal y una vertical.

- La porción horizontal va a formar el suelo de las fosas nasales y por otra parte el techo de la cavidad oral. En esta porción nos encontramos que en su borde interno se une con el otro maxilar y en el borde anterior se va a unir con el hueso palatino para formar el paladar óseo que se encuentra en el techo de la cavidad oral.
- La porción vertical es la que da fisonomía a la cara. Está en la región anterior de la cara y va desde la cavidad orbitaria. Junto con el hueso malar forma el suelo de la cavidad orbitaria.

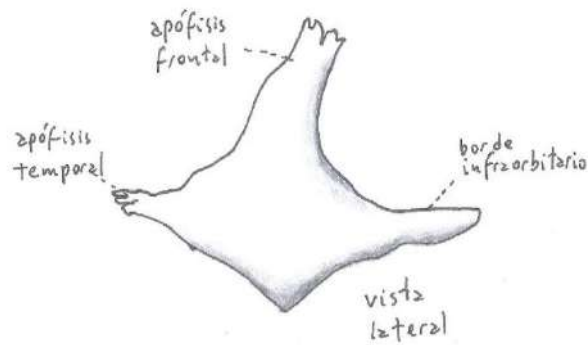


Hueso maxilar

Esta porción vertical se articula con los huesos nasales de tal forma que las porciones verticales de los dos maxilares junto con los huesos nasales van a dar a la entrada ósea de las fosas nasales. En su cara más interna de esta pared vertical del hueso maxilar va a formar la pared lateral de las fosas nasales. En el borde inferior de la parte horizontal de este maxilar nos encontramos la cresta alveolar, en esta cresta tenemos una serie de orificios o cavidades alveolares en donde se insertarán los dientes superiores.

### Malar o cigomático

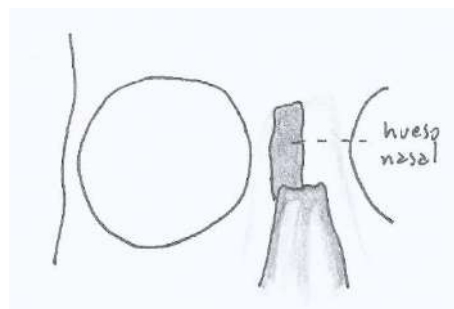
Es el que va a dar la fisionomía al pómulo. En su cara anterior se va a articular por una parte con el hueso maxilar, por otra con el hueso frontal y por la otra con la apófisis cigomática del temporal. Por la cara lateral el hueso malar se articula con el hueso temporal y con el hueso esfenoides.



*Hueso malar o cigomático*

### Nasales (huesos propios de la nariz)

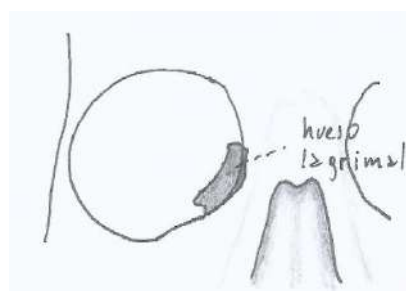
Son dos pequeñas láminas unidas en la línea mediana. Forman la raíz nasal. Desde una vista anterior, estos huesos se articulan entre ellos mediante la estructura intranasal; se articulan también con el hueso frontal, con la estructura frontonasal; y con ambos huesos maxilares. Desde una vista sagital, los huesos de la nariz se articulan con la lámina perpendicular del etmoides, que está en la línea media y forma el tabique nasal.



*Hueso nasal*

### Lagrimal (unguis)

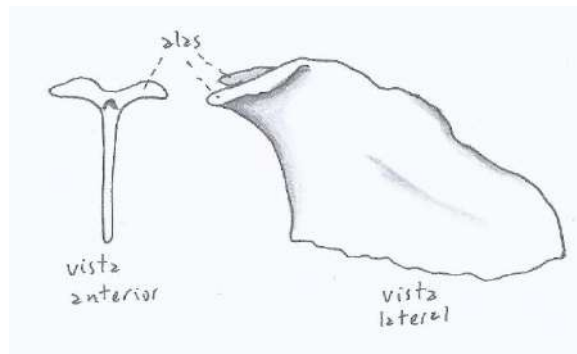
Hueso par, situado en la cara medial de cada cavidad orbitaria, entre el frontal, el etmoides y el maxilar; es una lámina ósea, delgada e irregular. En su cara interna forma parte de la cavidad nasal.



*Hueso lagrimal*

### Vómer

Es una lámina ósea vertical y media, se articula con la lámina perpendicular del etmoides, con el cuerpo del esfenoides y se sitúa en la línea media de las fosas nasales formando parte del tabique nasal.

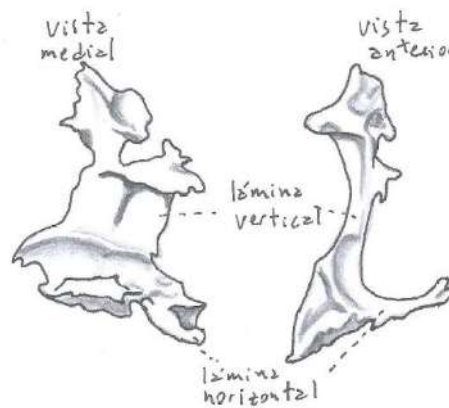


Hueso vómer

## Palatino

Hueso par y profundo, contribuye a formar la bóveda palatina, la cavidad nasal y la órbita. Tiene forma de L y se divide en dos porciones: una horizontal y una vertical.

- La porción horizontal se va a unir en su borde interno con el borde interno del otro palatino y en su borde anterior se une con el maxilar. El maxilar y el palatino forman el paladar óseo del techo de la cavidad oral. Además, el hueso palatino también forma parte del suelo de las fosas nasales.
- La porción vertical forma parte de la pared externa de las fosas nasales.



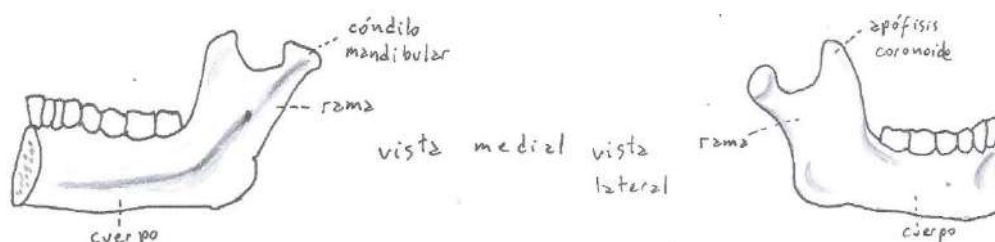
Hueso palatino

## Cornete nasal inferior

Lámina ósea alargada horizontalmente, se adhiere a la pared lateral de la cavidad nasal por su borde superior. Es un hueso independiente que tiene relación con el maxilar y se sitúa a nivel de las fosas nasales.

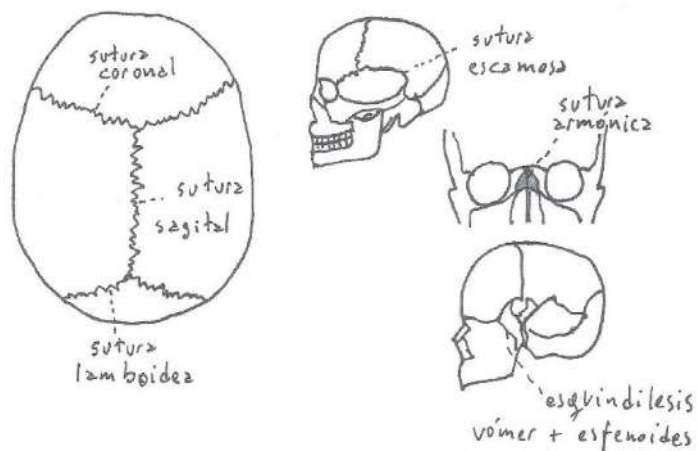
## Mandíbula

Hueso simétrico, impar, mediano y móvil. Es un hueso único que tiene forma de U y se encuentra en la parte inferior de la cara. Tiene una porción horizontal que se llama cuerpo y dos porciones verticales que son ramas. La mandíbula se articula con los huesos de la base del cráneo a través de la articulación temporomandibular, donde los cóndilos de la mandíbula se articulan con la cavidad glenoidea del temporal. En el cuerpo horizontal nos encontramos con una cresta alveolar en la cual hay orificios alveolares en los que se insertan los dientes inferiores. En las dos ramas encontramos en la parte posterior, el cóndilo de la mandíbula que se va a articular con la cavidad glenoidea del temporal y forma la articulación temporomandibular. Más adelante tenemos un saliente que es la apófisis coronoides y entre el cóndilo y la apófisis tenemos otro accidente óseo que es una escotadura.



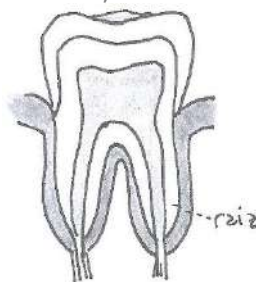
## Articulaciones de la cabeza

- Suturas: son la unión entre los huesos de la calvaria; son articulaciones fibrosas que no tienen movilidad.



### Suturas

- Gonfosis: se forma entre el alveolo y el diente; es una articulación fibrosa que no tiene movilidad.



### Gonfosis

- Articulación atlanto occipital: se establece entre los cóndilos del occipital y las masas laterales del hueso atlas, que es la primera vértebra cervical; es una articulación elipsoidea que no tiene movilidad.

- Articulación temporomandibular: se establece entre los cóndilos de la mandíbula y la cavidad glenoidea en el temporal (ver los huesos correspondientes: mandíbula y temporal); es una articulación bicondílea y tiene movilidad.

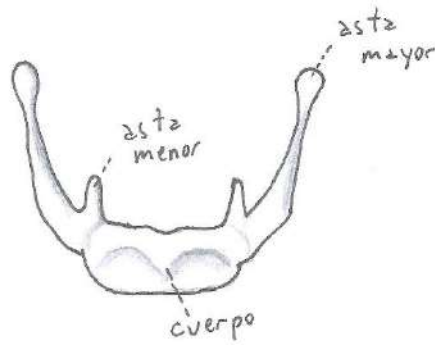
Las articulaciones atlanto-occipital y la temporomandibular son diartrosis.

## Hioides

Es impar, mediano y simétrico. Es un hueso que se sitúa en la línea media del cuerpo entre la cabeza y el cuello, por encima de la laringe y por debajo de la lengua, atrás de la mandíbula.

Tiene forma de herradura y se va a sujetar gracias a las membranas y músculos que pasan por él. No articula con ningún otro hueso. Consta de dos astas mayores que van a la región posterior y dos menores algo más pequeñas.

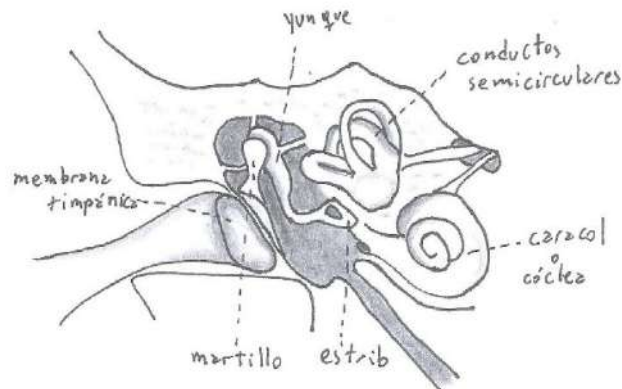




Hueso hioides

## Huesos del oído

De lateral a medial, constituyen una cadena articulada y son:  
Martillo, yunque y estribo



Huesecillos del oído

## Columna vertebral

Constituida por piezas óseas superpuestas, llamadas vértebras. Comprende 4 porciones, denominadas, de arriba hacia abajo: cervical, torácica, lumbar y pelviana. Esta tiene una parte móvil y una fija.

La parte móvil consta de:

- 7 vértebras cervicales
- 12 vértebras torácicas
- 5 vértebras lumbares

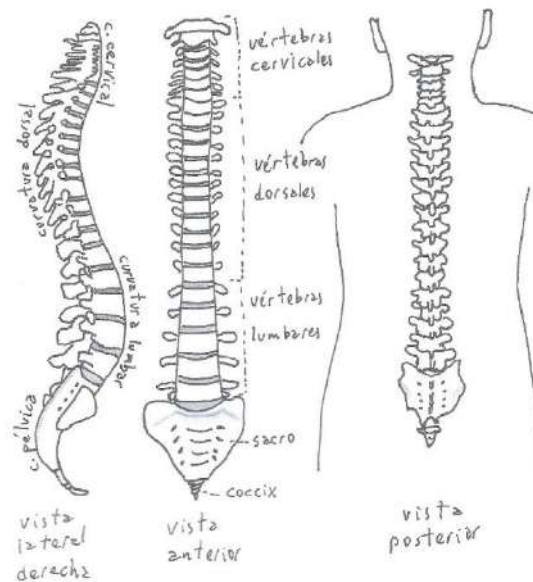
La parte fija tiene:

- Sacro (son 5 vértebras que se unen formando una sola)
- Cóccix (de 3 a 5 vértebras que se unen formando una sola)

La columna vertebral está en la parte posterior del cuerpo, en la línea media. Desde una vista lateral podemos ver una serie de curvaturas:

- Curvatura primaria: es de concavidad anterior (se desarrolla en el período fetal), se mantiene en las regiones torácicas y sacra en los adultos.
- Curvatura secundaria: es de concavidad posterior, se forma en las regiones cervical y lumbar.

Llevan el centro de gravedad a una línea vertical. Y permite que se balancee el peso del cuerpo sobre la columna vertebral y mantener una bipedestación erguida.



Columna vertebral

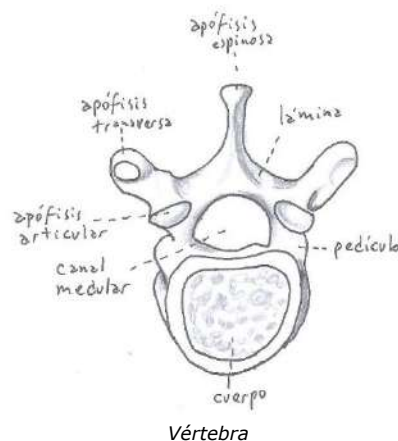
## Vértebras móviles o libres

Las vértebras móviles están unidas unas con otras en su cuerpo mediante discos vertebrales, los cuales tienen un anillo fibroso y un núcleo pulposo

## Vértebra tipo (descripción de una vértebra general)

Las vértebras están formadas por un cuerpo y un macizo apofisario, ambos están unidos por dos columnas anteroposteriores: los pedículos del arco vertebral, que delimitan a ambos lados el foramen vertebral.

- Cuerpo vertebral: ocupa la porción anterior, tiene forma de cilindro y constituye la sustentación de la columna.
- Macizo apofisario: comprende las **apófisis transversas**, son dos dirigidas lateralmente, **apófisis articulares**, dos superiores y dos inferiores que articulan con las vértebras de arriba y abajo, **apófisis espinosa** una posterior ubicada en la línea media, **láminas vertebrales** dos, desde la base de la apófisis espinosa se unen con las apófisis transversas y articulares, **pedículos** dos, desde la base de las apófisis transversas y articulares hasta la parte posterior y lateral del cuerpo vertebral donde están los **forámenes intervertebrales** que son una escotadura de tal forma que da lugar a un agujero a cada lado. Este agujero sirve de paso para vasos y raíces nerviosas, estos son los agujeros de conjunción.
- Foramen vertebral: formado adelante por la cara posterior del cuerpo; atrás por las láminas y la base de la apófisis espinosa y lateralmente por los pedículos y las apófisis articulares. La superposición de los forámenes constituye el conducto vertebral.



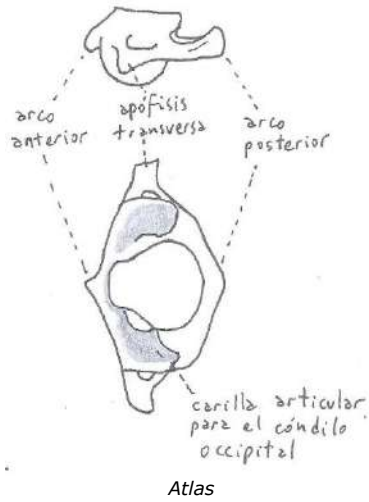
Vértebra

## Características de las vértebras

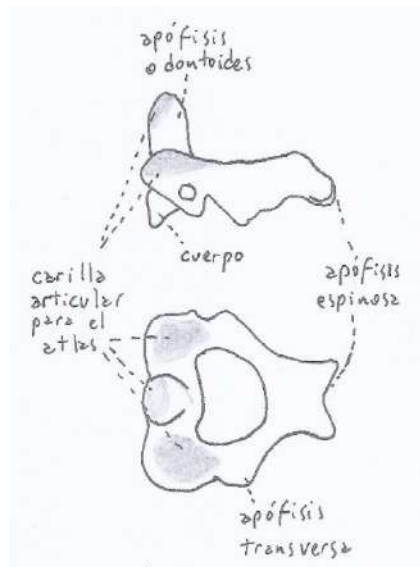
## Vértebras cervicales (7)

Como excepción las dos primeras vértebras son las más diferentes con respecto a las demás:

- La 1ª vértebra cervical es el ATLAS. En ella nos encontramos unos salientes o cóndilos a ambos lados que se van a articular con el occipital formando la articulación occipitoatlantoidea. Además, ésta vértebra no tiene cuerpo y tampoco tiene apófisis espinosa.

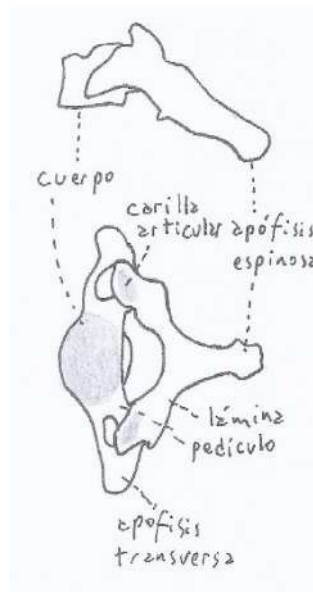


- La 2ª vértebra cervical es el AXIS. Lo especial de esta vértebra es que tiene un saliente (en el cuerpo) de hueso que es la apófisis odontoides. Además, tiene una carilla articular que va a formar una articulación con el ATLAS, que es la articulación atlantoaxoidea, y va a estar sujeta por unos ligamentos.



Axis

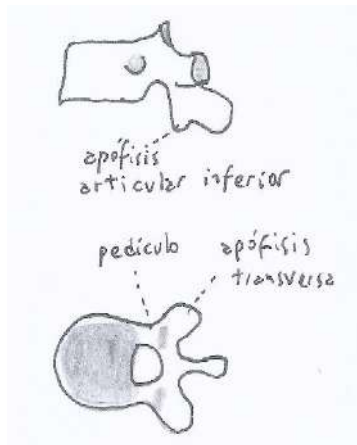
Todas las vértebras van a tener apófisis espinosas bífidas excepto la 1 y 7. Además todas las vértebras cervicales van a tener un orificio en las apófisis transversas excepto en la C7 que puede estar o no; este orificio forma un canal por el que pueden pasar las arterias vertebrales.



Vértebra cervical

## Vértebras torácicas (12)

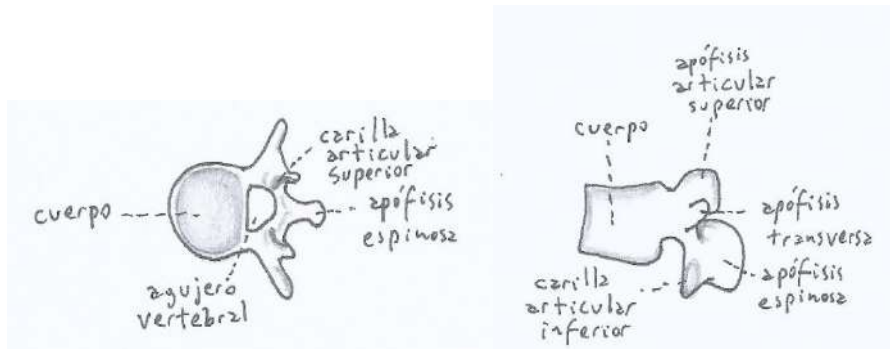
Tienen el cuerpo redondeado y voluminoso. La diferencia principal es que tienen carillas que se sitúan en el cuerpo y en las apófisis articulares para poder articularse con las costillas. Tienen apófisis espinosas largas, dirigidas hacia abajo y atrás. El foramen vertebral es circular y comparativamente pequeño. Las vértebras de la columna torácica son relativamente fijas, pues constituyen un sólido apoyo a las costillas y, por lo tanto, a los movimientos de la caja torácica.



Vértebras torácicas

### Vértebras lumbares (5)

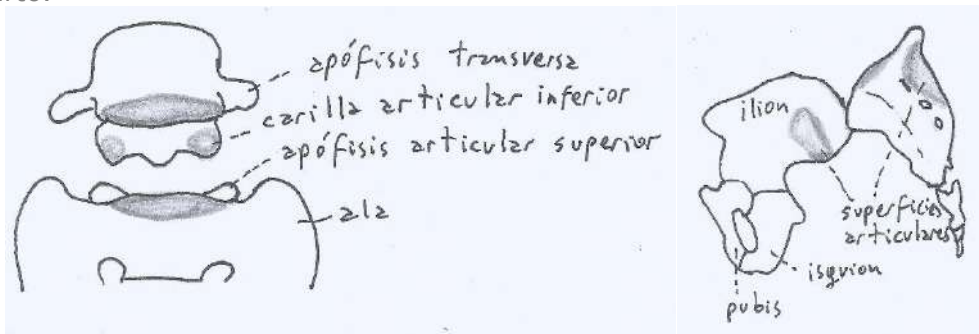
Son sólidas y móviles. Tienen un cuerpo muy voluminoso y una apófisis espinosa mucho más gruesa que se dirige horizontal hacia atrás. Las apófisis transversas son abultadas y transversales. El foramen vertebral es triangular y relativamente pequeño.



Vértebras lumbares

### Vértebras sacras (5) y coccígeas (4)

El sacro está formado por la unión de 5 vértebras sacras. Vista lateralmente el sacro resulta de la unión de las apófisis trasversas y además nos encontramos los agujeros sacros. En la línea media encontramos los cuerpos vertebrales fusionados. En el sacro lateralmente hay unas carillas articulares que se van a articular con los coxales para formar la pelvis. En la cara posterior del sacro, en la línea media, encontramos la cresta sacra que es la unión de las apófisis espinosas de las cinco vértebras sacras. La base del sacro es el borde superior (S1) esta es la parte más saliente y se le llama promontorio. A ambos lados del promontorio se encuentran las alas del sacro. El cóccix es el que continúa al sacro, son cuatro vértebras coccígeas fusionadas. Este tiene una cierta movilidad durante el parto.



Vértebras sacras y coccígeas

## Diferencias entre las vértebras

TIPO VERTEBRA	NÚMERO	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS
CERVICALES	7	-Apófisis espinosa bífida (excepto C1 y C7)
		-En apófisis transversa agujero (excepto C7 que puede estar o no)
		- Atlas (C1): masas laterales, ausencia de cuerpo
		- Axis (C2): apófisis odontoides.
TORACICAS	12	- Carillas articulares para costillas en los cuerpos vertebrales
		- Cuerpo cilíndrico y voluminoso
LUMBARES	5	- Cuerpo muy voluminoso
		- Apófisis espinosas gruesas y cortas.
SACRO	5	Fusionadas
COCCIX	4	Fusionadas

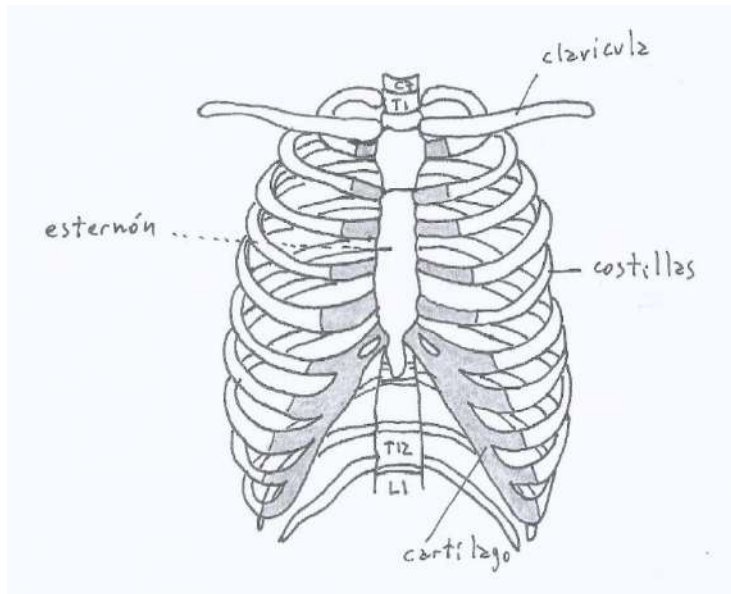
### Articulaciones de la columna vertebral

- Articulación occipitoatlantoidea: une la cabeza con la columna vertebral, es una articulación sinovial de tipo elipsoidea (condilea).
- Articulación atlantoaxoidea: comprende dos articulaciones, una lateral y otra medial. Las laterales son articulaciones planas como todas las vértebras inferiores. La articulación medial es una trocoide.
- Articulación de los cuerpos vertebrales: son articulaciones cartilaginosas, subgrupo de las sínfisis.
- Articulaciones de las apófisis articulares: son artrodias en la región cervical y torácica, y trocoide en la región lumbar.
- Las apófisis transversas y las espinosas están unidas por ligamentos

### Esqueleto del tórax

Se denomina caja torácica a la formación osteocartilaginosa que contiene los pulmones y los órganos mediastinales. Está formada por una línea media posterior donde están las vértebras torácicas, una línea media anterior con un hueso central que es el esternón y a los lados tiene 12 pares de costillas. En las costillas podemos diferenciar:

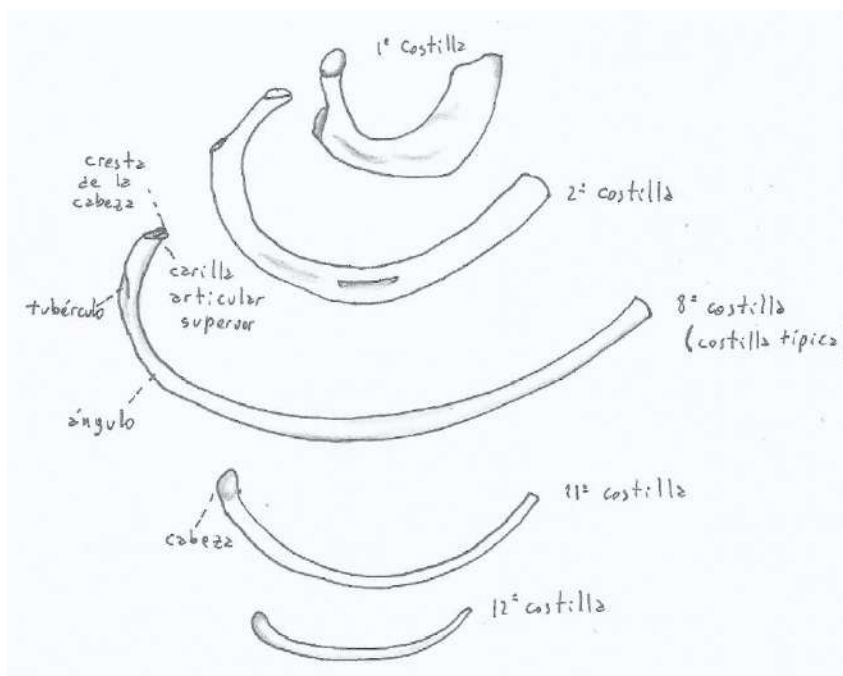
- 7 pares de costillas verdaderas, que se articulan por un cartílago con el esternón.
- 3 pares de costillas falsas, que no se articulan directamente con el esternón sino con el cartílago de la séptima costilla.
- 2 pares de costillas flotantes



Esqueleto del tórax

### Costillas

Son huesos planos y alargados con forma de arco. No son rectilíneas ni horizontales, tienen una larga convexidad, posterior, lateral y luego anterior. Su dirección es oblicua hacia abajo y adelante. Toda costilla presenta: una extremidad posterior que comprende la cabeza, el cuello y el tubérculo; un cuerpo o parte media y una extremidad anterior. La cabeza tiene dos carillas articulares, que se van a articular con los cuerpos vertebrales. Entre el cuello y el cuerpo sale un tubérculo, el cual se va a articular con las apófisis transversas de las vértebras torácicas. El cuerpo es plano, tiene una cara lateral y otra medial. En la cara interna tiene una especie de surco por donde van a pasar vasos y nervios. La extremidad anterior proporciona inserción al cartílago costal.



Costillas

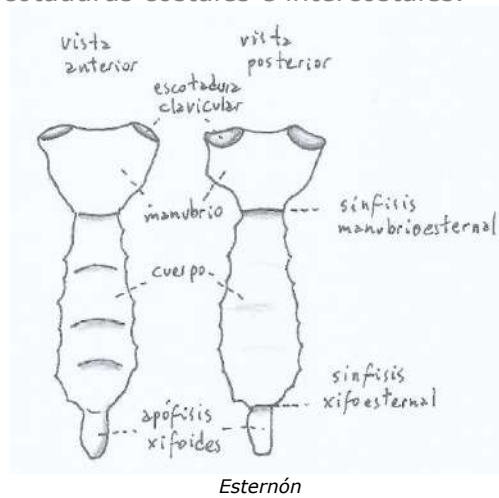
### Esternón

Es un hueso plano, impar, mediano y simétrico, que consta de tres partes:

- Superior, que se denomina manubrio
- Cuerpo en la parte media
- Inferior o apéndice xifoides



El manubrio y el cuerpo están unidos por un cartílago que se puede osificar. El manubrio se va a articular por una parte con la clavícula y por otra con la primera costilla. En la unión entre el manubrio y el cuerpo se articula la segunda costilla. Y el resto de las costillas se articulan con el cuerpo. El apéndice xifoides está unido al cuerpo por cartílago que también se puede osificar. En los laterales presenta dos bordes con las escotaduras costales e intercostales.



Esternón

## Articulaciones del tórax

Se distinguen diferentes grupos:

- Articulaciones de las costillas con las vértebras
- Articulaciones de los cartílagos costales con el esternón
- Articulaciones de las costillas con los cartílagos costales
- Articulaciones de los cartílagos costales entre sí
- Articulaciones de las piezas esternales unas con otras

## Generalidades del tórax

La forma del tórax es cilíndrico con vértice superior. Su diámetro transversal es mayor que el anteroposterior. Presenta dos orificios, el **superior** limitado atrás por el cuerpo de la primera vértebra torácica, adelante por el borde superior del manubrio del esternón y lateralmente por el borde medial de las primeras costillas; y el **inferior** limitado atrás por el borde inferior de la 12ª vértebra torácica, adelante por la apófisis xifoides y lateralmente por el cartílago costal común y las 11ª y 12ª costillas.

## Huesos del miembro superior

El Miembro superior está constituido por dos segmentos:

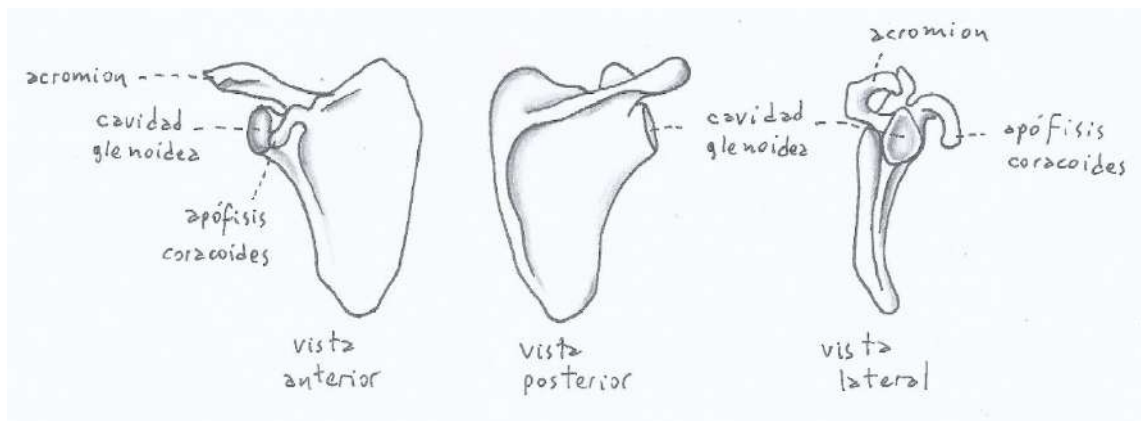
- Cintura escapular: está formada por delante por la clavícula y por detrás por la escápula.
- Porción libre del miembro superior: está colgando de la cintura escapular. Está formado por el húmero en el brazo; el radio y cúbito en el antebrazo; los huesos del carpo, metacarpo y las falanges en la mano.

## Clavícula

Es un hueso alargado extendido desde el esternón a la escápula, tiene forma de S itálica. Tiene dos extremidades la esternal y la acromial, que articulan respectivamente con el acromion de la escápula y con el esternón.

## Escápula

Es un hueso plano triangular, que se apoya sobre la parte superior, posterior y lateral de la caja torácica, tiene gran movilidad. Articula con la clavícula mediante el acromion y con el húmero en la cavidad glenoidea.



Escápula

## Húmero

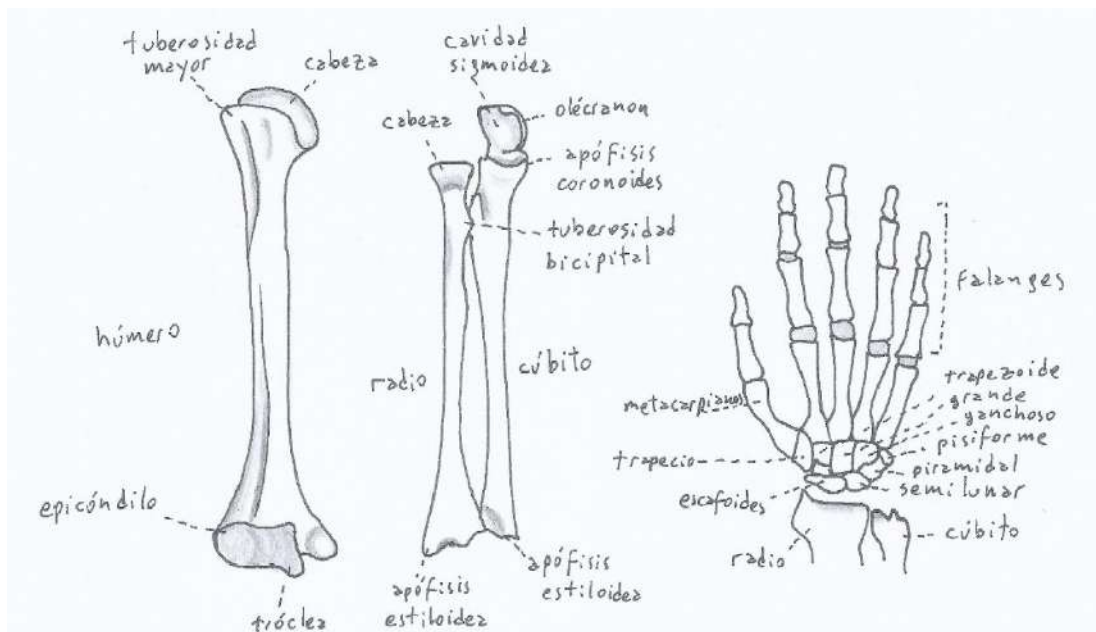
Es un hueso largo que tiene un cuerpo o diáfisis y dos extremidades o epífisis: superior e inferior. La extremidad superior participa de la articulación glenohumeral y la inferior de la articulación del codo.

## Radio

Es un hueso largo situado en la parte lateral del antebrazo. Tiene un cuerpo o diáfisis y dos extremidades o epífisis: superior e inferior. Su extremidad inferior está más desarrollada que la superior.

## Cúbito

Es un hueso largo situado en sentido medial con respecto al radio, también presenta un cuerpo y dos extremidades. La extremidad superior es más voluminosa que la del radio y asciende más que éste. Forma parte de la articulación del codo. La extremidad inferior es un pequeño engrosamiento de forma más o menos esférica que articula con el radio y el hueso piramidal.



Húmero, radio, cúbito y huesos de la mano

## Huesos de la mano

El esqueleto de la mano está formado por 27 huesos repartidos en tres grupos:

- Huesos del carpo: son 8 y están dispuestos en dos filas. En la primera fila está el escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme. La segunda fila está formada por el trapezio, trapezoide, hueso grande y ganchoso.
- Huesos del metacarpo, tenemos cinco, uno en cada dedo.
- Falanges, tenemos tres en cada dedo excepto en el pulgar que tenemos solo dos.

## Articulaciones del miembro superior

### Cintura escapular

- Articulación acromioclavicular: es una articulación plana o artrodia, permite movimientos de deslizamiento, está reforzada por ligamentos.
- Articulación esternocostoclavicular: formada por el esternón, la clavícula y la primera costilla. Esta articulación es de encaje recíproco (silla de montar), tiene cápsula y existe desplazamiento en dos ejes.

### Hombro (escapulo-humeral)

Es de diartrosis esferoidea o enartrosis. Tiene casquete y cubierta de esfera. Tiene movimientos en tres ejes.

En eje transversal: flexión, extensión; en eje sagital: abducción, aducción; y en eje vertical: lateral y medial. Esta articulación posee el movimiento de circunducción.

### Codo

Articulación troclear o en bisagra. Fisiológicamente tenemos las articulaciones humero-radial, humero-cubital y radio-cubital proximales.

### Membrana interósea (sindesmosis)

El radio y el cúbito están unidos por una membrana interósea.

### Radiocubital distal

Permite los movimientos de supinación y pronación.

### Articulaciones de la mano

- Articulación radio carpiana: une el radio con la primera fila del carpo, es una articulación condilea, tiene movimiento en dos ejes: flexión, extensión y rotación.
- Articulación intercarpianas: entre los distintos huesos del carpo, son articulaciones planas, artrodias; por ejemplo, la medio carpiana entre la primera fila y la segunda que es condilea.
- Articulación carpo metacarpianas: entre la segunda fila del carpo y el primer metacarpiano, articulación de encaje recíproco. Los demás metacarpianos tienen articulaciones artrodias (silla de montar).
- Articulación intermetacarpianas: entre los metacarpianos, son artrodias de deslizamiento.
- Articulación metacarpo falángicas: entre los metacarpianos y las falanges, son esferoideas, se mueven en tres ejes.
- Articulación interfalángicas: entre las falanges, es una articulación troclear o gínglimo.

## Huesos del miembro inferior

El miembro inferior comprende cinco segmentos

- Cintura pélvica: está formada por los huesos coxales unidos adelante entre sí y por detrás articulados con el sacro.

La porción libre que comprende:

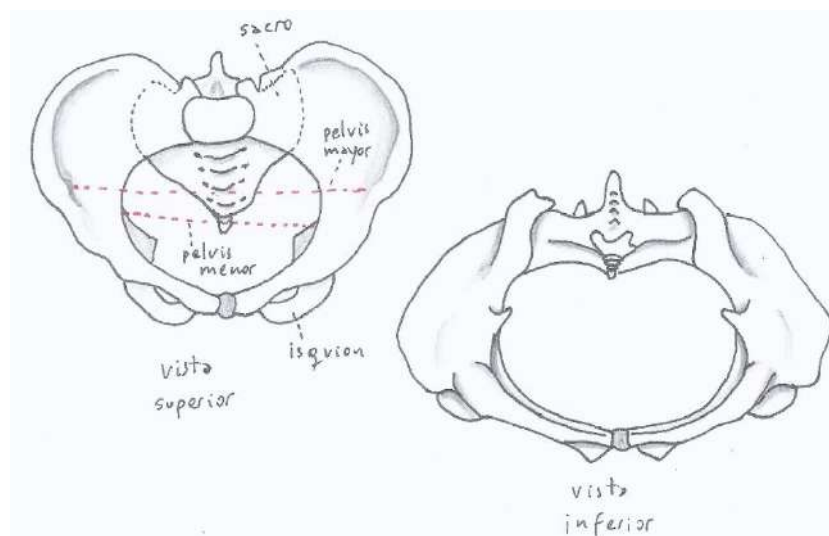
- Muslo: están formados por un único hueso que es el fémur.
- Pierna: está formada por la tibia, la rótula y el peroné.
- Rodilla: formada por la rótula
- Pie: está formado por el tarso, el metatarso y las falanges.

### Cintura pélvica

Está formada por la unión de los dos coxales que en la región anterior se articulan por la sínfisis del pubis y en la parte posterior con el sacro. Los coxales se articulan con la cabeza del fémur formando la articulación coxofemoral. La pelvis está formada por los coxales, el sacro y el cóccix.

## Hueso coxal

Primitivamente constituido por tres piezas distintas, el pubis adelante, el ilion arriba y lateral, el isquion abajo y atrás. El ilion es la porción superior del hueso coxal, destaca un borde superior que es la cresta ilíaca y dos fosas, una externa (donde se insertan los glúteos) y una interna (donde se inserta el músculo ilíaco). También tenemos en la región postero-superior del ilion, la tuberosidad del ilion, que es para articularse con el sacro. El isquion es posterior e inferior en hueso coxal y está formado por dos porciones, un cuerpo y una rama. El cuerpo formará parte del acetábulo para articularse con la cabeza del femoral; y la rama se une al pubis para formar el agujero obturador. El pubis se sitúa en la región antero inferior del hueso coxal. Se une con el pubis contralateral y forman la sínfisis o articulación del pubis. El pubis también forma parte del acetábulo. El acetábulo es una cavidad en el centro del hueso coxal, tiene fibrocartílago y forma parte de la articulación coxofemoral.



Pelvis ósea

## Fémur

Es un hueso largo que tiene una diáfisis y dos epífisis. La epífisis proximal tiene una cabeza cubierta por fibrocartílago que se articula con el acetábulo. Al estrecharse la cabeza se forma un cuello, y después del cuello tenemos dos prominencias; la de arriba que es el trocánter mayor y la de abajo el trocánter menor. Hay una línea que une los dos trocantes que es la línea intertrocantera. El fémur tiene una diáfisis alargada que en su región posterior tiene una rugosidad llamada línea áspera. La epífisis distal se articula con la tibia. En la región posterior de la epífisis distal tenemos dos cóndilos, uno medial y otro lateral y en medio de los dos tenemos una fosa intercondílea. En la cara anterior tenemos dos salientes óseos uno a cada lado, uno es el epicóndilo medial y otro el epicóndilo lateral. En medio de la vista anterior tenemos una superficie fibrocartilaginosa que es la superficie rotuliana que lo une con la rótula.

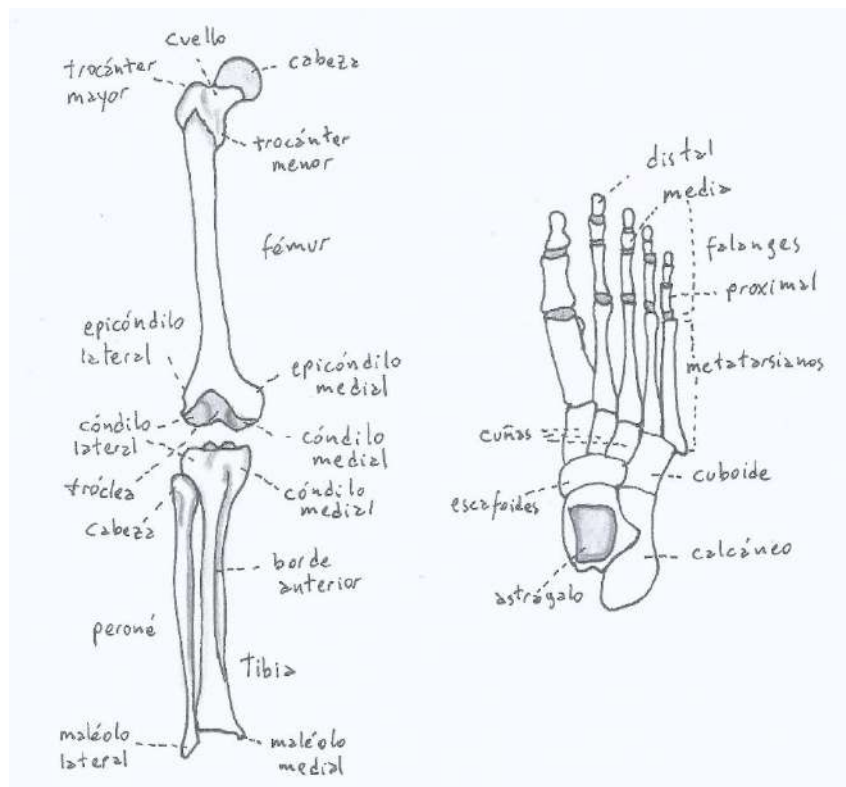
## Huesos de la pierna

- Rótula: es un hueso sesamoideo que se va a articular con la superficie rotuliana del fémur y donde se va a insertar el tendón del cuádriceps.

- Tibia: es el hueso más largo y más pesado después del fémur. Se articula con la extremidad distal del fémur para formar la rodilla. Es un hueso largo con una extremidad proximal donde tenemos dos superficies prácticamente planas, que se unen con los cóndilos, que se llaman mesetas. Hay una meseta medial y una lateral. También nos encontramos una carilla articular para la cabeza del peroné. La diáfisis tiene forma triangular y en su región más anterior y superior tenemos una rugosidad que es la tuberosidad de la tibia. En la parte más externa nos encontramos la membrana interósea que se va a unir al hueso peroné. En la extremidad distal, en la región interna nos encontramos un maléolo interno. También nos encontramos una cara articular por la cual se articula con el astrágalo. Y una escotadura para articularse con el peroné.

- Peroné: es el hueso externo de la pierna y es largo. En la epífisis proximal nos encontramos una cara articular para articularse con la tibia. La diáfisis es muy larga y en su borde interno tiene la

membrana interósea. En la extremidad distal nos encontramos un saliente que es el maléolo externo o lateral y va a tener una carilla articular con el astrágalo.



Fémur, tibia, peroné y huesos del pie

## Huesos del pie

### - Huesos del Tarso

Son 7 huesos dispuestos en dos filas, una fila posterior con el astrágalo y el calcáneo, y una fila anterior formada por el cuboides, navicular, cuneiformes medial, intermedio y lateral

### - Metatarsos

Son huesos largos con una diáfisis y dos epífisis, existen cinco metatarsianos numerados del I al V, que van de medial a lateral.

### - Falanges

Hay tres en cada dedo, excepto en el primero que sólo tenemos dos. Son huesos cortos a pesar de ser clasificados como huesos largos.

## Articulaciones del miembro inferior

- Articulación coxofemoral (articulación de la cadera): es una sinovial esferoidea, enartrosis. Posee una notable movilidad.
- Rodilla: la articulación de la rodilla es una articulación sinovial, desde el punto de vista mecánico es una troclear, compuesta por dos articulaciones, la femorotibial que es bicondílea y la femororrotuliana que es una tróclea.
- Articulaciones tibioperoneas: los dos huesos de la pierna están articulados entre si arriba y abajo, además están unidos por la membrana interósea de la pierna. La articulación tibioperonea corresponde a las sinoviales planas. También hay una sindesmosis tibioperonea, es una articulación fibrosa que se encuentra en los extremos distales de los huesos de la pierna.
- Articulación talocrural (Tobillo): une la tibia y el peroné al astrágalo. Es una articulación sinovial de tipo gínglimo, móvil y sólida a la vez.
- Articulación astragalocalcáneas: son articulaciones artrodiadas.
- Articulación intertarsianas: son artrodiadas. Se unen los huesos entre sí.
- Articulación tarsometatarsianas: son artrodiadas. Se unen los metatarsianos entre ellos.
- Articulación metatarsofalángicas: son articulaciones esferoideas.
- Articulación interfalángicas: son articulaciones trocleares. Se unen unas falanges con otras.

## Componentes del esqueleto óseo

Esqueleto axial		Esqueleto apendicular		
<b>huesos del cráneo</b>	frontal (1)	<b>esqueleto del miembro superior</b>	clavícula (2)	
	parietal (2)		escápula (2)	
	temporal (2)		húmero (2)	
	occipital (1)		radio (2)	
	esfenoides (1)		cúbito (2)	
	etmoides (1)		huesos del carpo (16)	
<b>huesos de la cara</b>	nasal (2)		metacarpianos (10)	
	maxilar superior (2)		falanges (28)	
	cigomático (2)		<b>esqueleto del miembro inferior</b>	coxales (2)
	maxilar inferior (1)			fémur (2)
	lacrimar (2)	rótula (2)		
	palatino (2)	tibia (2)		
	cornetes inferiores (2)	peroné (2)		
	vómer (1)	huesos del tarso (14)		
	metatarsianos (10)			
	falanges (28)			
<b>huesos del oído</b>	martillo (2)			
	yunque (2)			
	estribo (2)			
<b>hueso hioides (1)</b>				
<b>columna vertebral</b>	vértebras cervicales (7)			
	vértebras dorsales (12)			
	vértebras lumbares (5)			
	sacro			
	cóccix			
<b>esqueleto del tórax</b>	esternón (1)			
	costillas verdaderas (14)			
	costillas falsas (6)			
	costillas flotantes (4)			

## Sistema muscular

El sistema muscular está compuesto por todos los músculos del cuerpo. En su mayoría, el tipo de músculo que predomina es el músculo esquelético. Las células musculares o fibras musculares (por su forma alargada y estrecha cuando se encuentran relajadas) son células especializadas en la contracción.

El conjunto de estos músculos, en un individuo medio y normal, corresponde a algo menos de la mitad del peso total de su cuerpo. El músculo vivo es de color rojo. Esta coloración denota la existencia de pigmentos y de una gran cantidad de sangre entre las fibras musculares.

## Anatomía macroscópica de los músculos

De acuerdo a su situación se pueden distinguir:

- Músculos superficiales, también denominados músculos cutáneos porque están debajo de la piel. Se los encuentra a nivel de la cara (músculos de la mímica), la cabeza y el cuello.

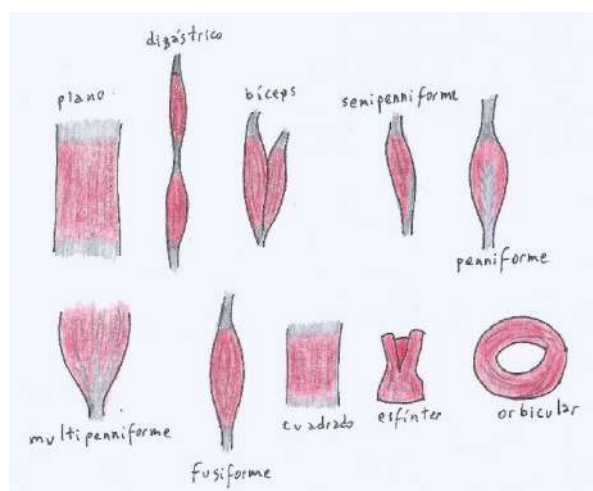
- Músculos profundos, la mayoría se insertan sobre el esqueleto, pero hay también músculos profundos anexados a órganos, como los músculos motores del ojo, la lengua, la faringe o el ano. Los músculos profundos se encuentran cubiertos por la fascia de revestimiento superficial que los envuelve y los separa del tejido subcutáneo.

En general, muchos músculos son rectilíneos y más o menos paralelos al eje mayor del cuerpo o al de los miembros. Aquellos que tienen otra orientación son llamados oblicuos o transversos. Otros músculos, para dirigirse de un punto a otro, no siempre siguen una línea recta, cambian de dirección durante su trayecto, en general apoyándose en una superficie ósea, son los músculos reflejos (p. ej., obturador interno, oblicuo superior del ojo).

Según la forma que adoptan, se distinguen:

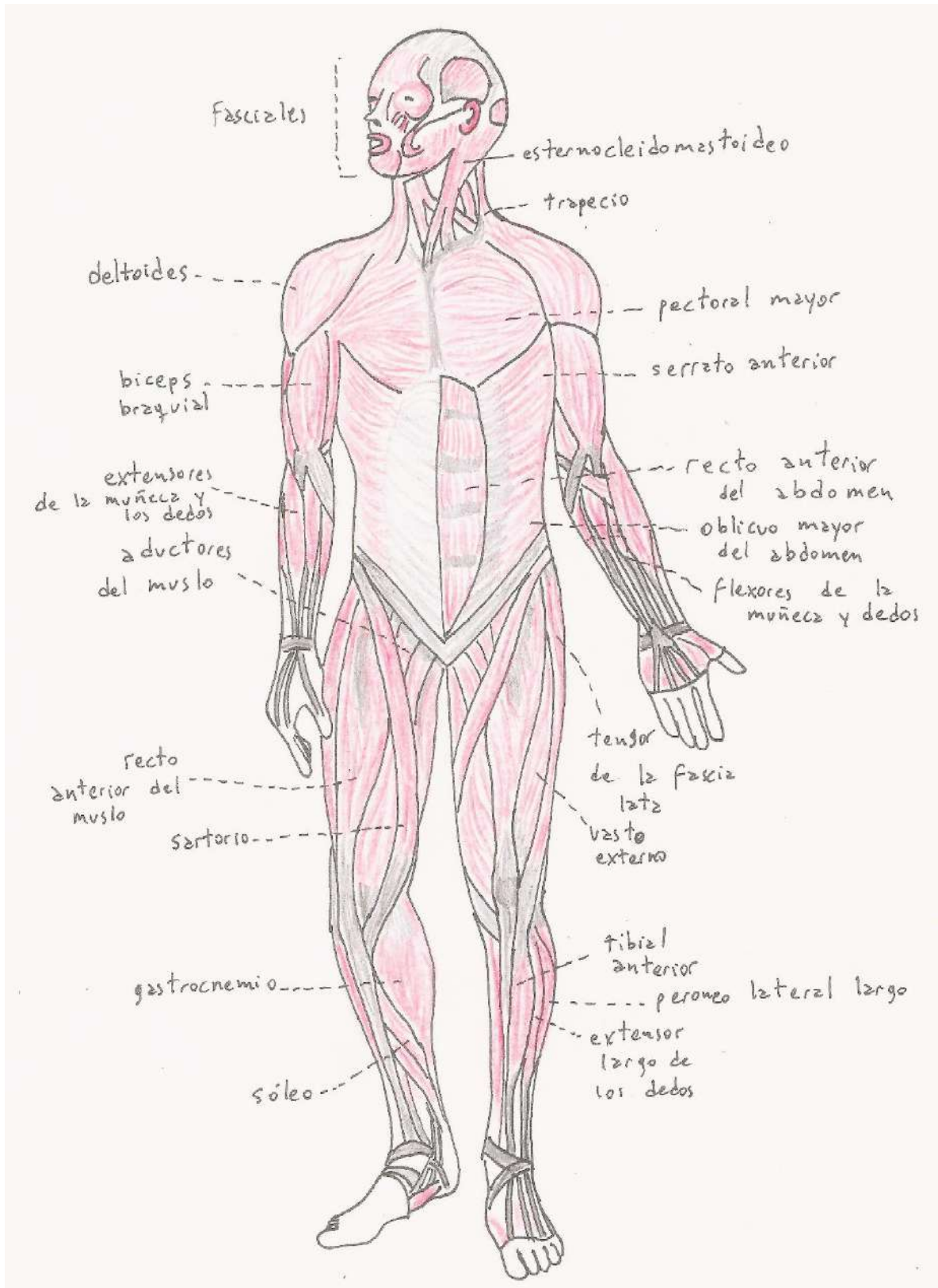
- Músculos largos o fusiformes: tienen forma de huso, con un vientre grueso y redondeado y extremos adelgazados. Se los encuentra en especial en los miembros. Los más superficiales son los más largos. Algunos de ellos pueden cruzar dos articulaciones (p. ej., bíceps braquial, semimembranoso). También dentro de los músculos profundos se encuentran músculos más cortos, que cruzan una sola articulación (p. ej., braquial, vasto intermedio).
- Músculos anchos o planos: se caracterizan por ser aplanados. Se los encuentra en las paredes de las grandes cavidades como el tórax y el abdomen. Presentan forma variable: triangular, acintada, plana, curva, etc. Sus bordes son rectilíneos; sin embargo, puede observárselos como irregulares y dentados. Algunos de ellos forman verdaderos tabiques de separación, como el músculo diafragma y el músculo elevador del ano.
- Músculos cortos: se encuentran en las articulaciones donde los movimientos son poco extensos, lo que no excluye su fuerza ni su especialización, por ejemplo: músculos de la eminencia tenar (en la palma para mover el pulgar).
- Músculos penniformes: la organización de los fascículos musculares tiene el aspecto de las barbas de las plumas. Las fibras musculares se disponen de manera fasciculada oblicua con respecto a un tendón que forma un eje. Pueden ser semipenniformes cuando los fascículos se ubican de un solo lado del tendón (músculo semitendinoso), penniformes cuando se disponen de ambos lados (músculo recto femoral) o multipenniformes cuando hay varios ejes tendinosos (músculo deltoides).
- Músculos anulares, circulares o esfinterianos: dispuestos alrededor de un orificio al cual circunscriben y aseguran el cierre. Se los llama orbiculares o esfínteres. Son de espesor y fuerza variables.
- Músculos convergentes: se originan en un área ancha y convergen para formar un solo tendón, por ejemplo, el músculo pectoral mayor.
- Músculos cuadrados: tienen cuatro lados iguales como el músculo cuadrado femoral.

Existen ciertos músculos que no pueden ser clasificados dentro de una de estas categorías. Un ejemplo de ello lo constituye el músculo recto del abdomen, que es a la vez largo y ancho. Debe señalarse que ciertos músculos como los digástricos se caracterizan por la existencia en su trayecto de una interrupción tendinosa que origina la existencia de dos vientres musculares, situados uno en la prolongación del otro o acodados en ángulo más o menos abierto.

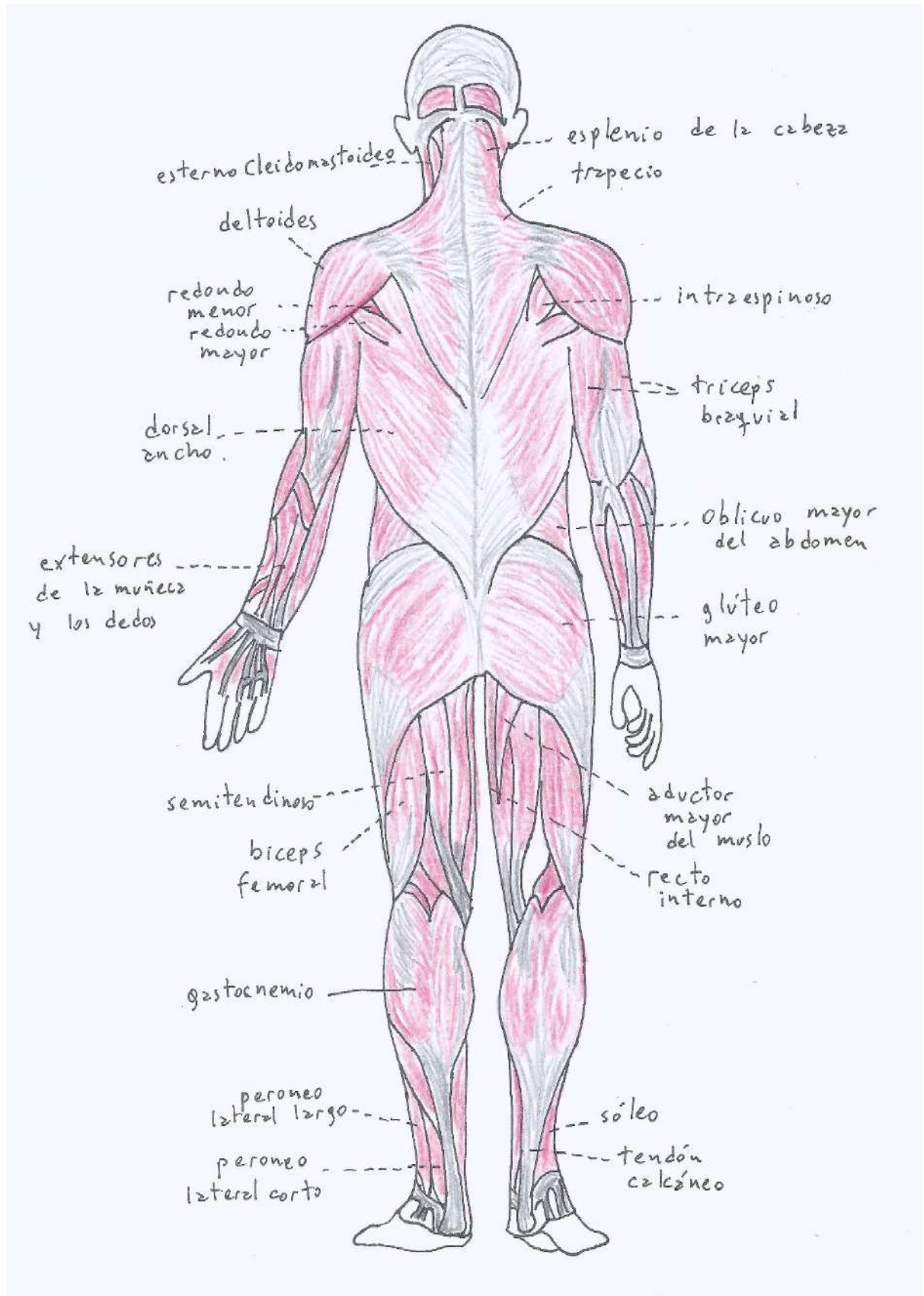


*Tipos de músculos*





Vista anterior de los músculos del cuerpo



Vista posterior de los músculos del cuerpo

## Inserciones de los músculos

Los músculos se fijan por sus extremos a superficies llamadas puntos de inserción, casi todos están situados sobre el esqueleto, pero existen algunos que se insertan sobre la piel, en las mucosas o en un órgano blando.

Es muy raro que un músculo se inserte directamente, por lo general lo hace por medio de un tendón, que es una estructura fibrosa, formada por tejido conectivo denso modelado, resistente, que prolonga el músculo hasta su punto de inserción.

El tendón puede ser considerado como la prolongación del tejido conectivo que rodea y separa las fibras musculares en el vientre muscular. Las fibras musculares se agrupan en fascículos y la cohesión de sus fibras se debe a la disposición del tejido conectivo que las rodea. El endomisio es tejido conectivo que envuelve cada una de las células musculares. El perimisio agrupa varios fascículos de células musculares. El tejido conectivo fibroso del tendón se continúa con el perimisio muscular asegurando la transmisión de la fuerza de tracción del músculo. El epimisio rodea todo el músculo y se ubica inmediatamente profundo a la fascia muscular.

## Fascias o Aponeurosis

Son membranas fibrosas formadas por tejido conectivo que envuelven a los músculos. Su función es contener el músculo durante la contracción, aislándolos de los planos cutáneos y subcutáneos.

## Vainas fibrosas y vainas sinoviales de los tendones

Son formaciones desarrolladas a modo de puente o de túnel entre las superficies óseas sobre las cuales se deslizan los tendones. Su función es contener el tendón, permitiéndole un deslizamiento fácil. Se las encuentra principalmente en los extremos de los miembros, en donde los tendones permanecen en contacto con el esqueleto.

## Bolsas serosas anexas a los músculos

Es frecuente observar entre dos músculos o entre un músculo y un hueso, pequeñas bolsas tapizadas por una membrana serosa: son las bolsas serosas, que favorecen el deslizamiento muscular.

## Espacios de deslizamiento

Se designa así al espacio comprendido entre un músculo y un plano fibroso u óseo o al espacio intermuscular. Contiene tejido conectivo laxo que permite el deslizamiento.

## Anatomía funcional de los músculos

Los músculos están dotados de dos cualidades: tono y contractilidad.

El tono muscular es cierto grado de contracción fisiológica refleja que poseen los músculos. Sirve para mantener la postura.

La contracción muscular puede ser de dos tipos: isométrica o estática, que pone en tensión al músculo sin modificar su longitud, es lo que sucede con el cuádriceps femoral en la posición de pie, su contracción estática se opone a la flexión de la rodilla por el peso del cuerpo. El otro tipo de contracción es la contracción isotónica, que acorta el músculo acercando sus inserciones y suscita el movimiento propio de cada músculo.

La contracción muscular posee dos cualidades: la fuerza y la velocidad. La fuerza depende de la longitud y del volumen de las fibras musculares. La velocidad es una condición propia de la fibra muscular. Puede ser aumentada por el entrenamiento

## Sistema nervioso

El sistema nervioso, junto con el sistema endócrino controlan las funciones del organismo. Permite que el organismo responda a cambios continuos de su medio externo e interno y controla e integra las actividades funcionales de los órganos y sistemas. La unidad funcional del sistema nervioso es la neurona, cuya función es recibir estímulos y transmitirlos a los órganos efectores, son células excitables y con muchas prolongaciones, las cuales están sostenidas y protegidas por otras células denominadas neuroglia. Las prolongaciones largas de las neuronas se denominan axones y las más cortas dendritas. Las respuestas neuronales son infinitamente variadas y van desde reflejos simples que solo necesitan la participación de la médula espinal hasta operaciones encefálicas complejas que incluyen la memoria, los sentimientos y el aprendizaje.

El sistema nervioso central comprende el conjunto de los centros y vías nerviosas reunidas en el encéfalo y en la médula espinal que se desarrollan a partir del tubo neural en el embrión.

El sistema nervioso central está conectado a los diversos órganos por intermedio del sistema nervioso periférico formado por ganglios, nervios craneales y espinales. En los órganos del SNC ocurre la correlación e integración de la información nerviosa.

La configuración interna del sistema nervioso central muestra una sustancia gris formada por los cuerpos de las neuronas y la neuroglia correspondiente, constituye los núcleos, columnas y láminas, y una sustancia blanca formada por los axones incluidos en la neuroglia formando cordones, tractos, fascículos, comisuras, lemniscos, fibras, decusaciones y estrías.

Desde el punto de vista funcional el sistema nervioso se clasifica en Sistema Nervioso Somático o de la vida de relación que provee inervación motora y sensitiva a todo el organismo; y Sistema Nervioso Autónomo o vegetativo, que provee inervación eferente motora al músculo liso, corazón y a las glándulas e inervación aferente o sensitiva desde las vísceras (dolor o reflejo autónomo). El SNA se subdivide en una división simpática y otra parasimpática que inerva todos los órganos, ejercen funciones estimuladoras o inhibitoras, un tercer componente que es la división entérica que inerva el tubo digestivo y puede funcionar de manera independiente. El sistema nervioso autónomo se distribuye en el sistema nervioso central, donde presenta numerosos centros, y en el sistema nervioso periférico, donde tiene sus ganglios y nervios. De su actividad resulta la homeostasis.



Organización del sistema nervioso

## Meninges

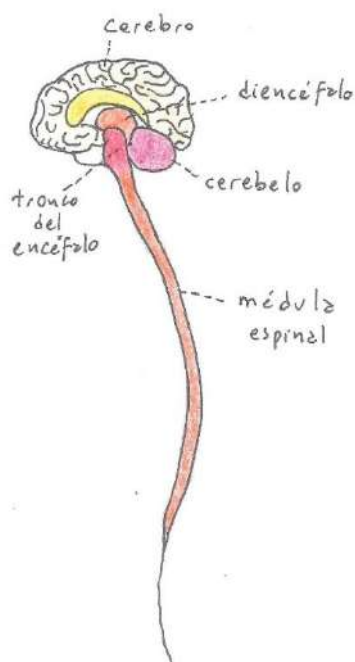
Son tres láminas de tejido conectivo que rodean, protegen y mantienen el sistema nervioso central dentro del cráneo (el encéfalo) y del conducto vertebral (la médula espinal). La duramadre es la más

externa y la más gruesa de las tres cubiertas. La aracnoides se adhiere a la superficie interna de la duramadre y presenta trabéculas. La piamadre es la más interna de las tres y se adhiere íntimamente al encéfalo y a la médula espinal. Entre las trabéculas de la aracnoides se dispone el espacio subaracnoideo, por donde circula líquido cefalorraquídeo.

## Sistema nervioso central

El sistema nervioso central comprende el conjunto de los centros y vías nerviosas reunidas en el encéfalo y en la médula espinal que se desarrollan a partir del tubo neural en el embrión. El sistema nervioso central está conectado a los diversos órganos por intermedio del sistema nervioso periférico formado por pares craneales y espinales.

La médula espinal y el encéfalo comprenden el neuroeje. En el encéfalo se distinguen de abajo hacia arriba: la médula oblongada [bulbo raquídeo], el puente [protuberancia], el mesencéfalo, el cerebelo, el diencefalo y el cerebro. La médula espinal con las raíces espinales y el encéfalo con los nervios craneales están protegidos por un conjunto esquelético sólido: el conducto vertebral y el cráneo, de los que están separados por sus envolturas: las meninges.



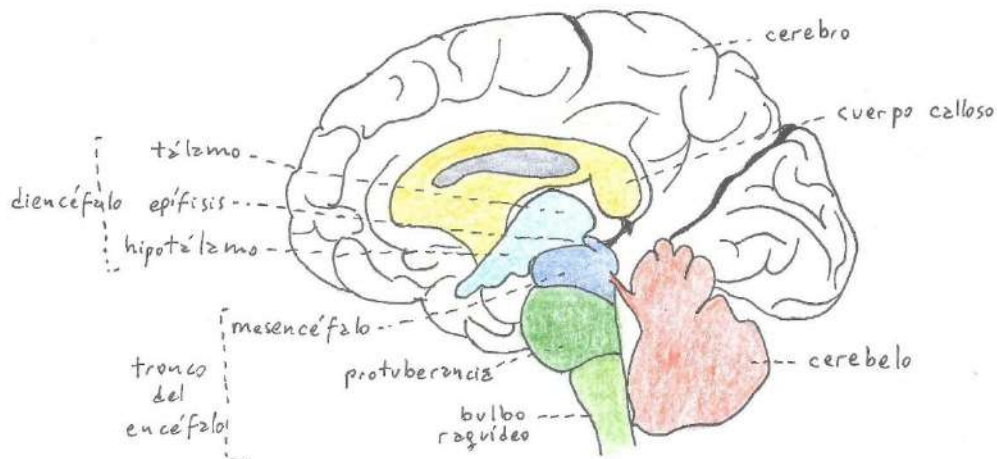
*Corte sagital del SNC*

## Encéfalo

El encéfalo se sitúa en la cavidad craneana y se continúa por debajo con la médula espinal a través del agujero occipital. El encéfalo se puede dividir en tres partes:

- Cerebro posterior o rombencéfalo, corresponde al bulbo raquídeo, la protuberancia y el cerebelo
- Cerebro medio o mesencéfalo, comprende los colículos superior e inferior y los pedúnculos cerebrales
- Cerebro anterior o prosencéfalo, dividido en diencefalo (tálamo, hipotálamo, región subtalámica y epitálamo) y telencéfalo (corteza cerebral, cuerpo estriado y sustancia blanca)





Corte sagital del Encéfalo

## Cerebro posterior o Rombencéfalo

### Médula oblongada o Bulbo raquídeo

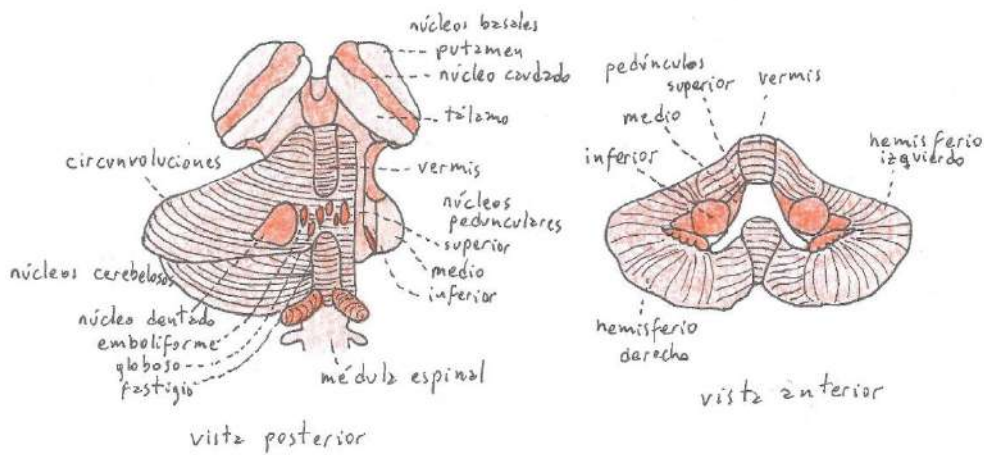
La médula oblongada está ubicada entre la médula espinal (abajo) y el puente (arriba). Junto al puente y al mesencéfalo conforma el tronco encefálico. Está apoyada sobre la superficie basilar del occipital. Tiene forma de pirámide, con su base superior y su vértice ensanchado inferior. Contiene grupos de neuronas denominados núcleos y sirve como conducto de fibras nerviosas ascendentes y descendentes.

### Puente o Protuberancia

Se ubica en la superficie anterior del cerebelo, por debajo del mesencéfalo y por encima de la médula oblongada. Posee gran cantidad de fibras transversas que conectan los dos hemisferios cerebelosos. También contiene numerosos núcleos y fibras ascendentes y descendentes.

### Cerebelo

El cerebelo se ubica dentro de la fosa craneana posterior, por detrás del puente y de la médula oblongada. Consiste, en dos hemisferios conectados por una porción mediana, el vermis. El cerebelo está conectado al mesencéfalo por los pedúnculos cerebelosos superiores, al puente por los pedúnculos cerebelosos medios y a la médula oblongada por los pedúnculos cerebelosos inferiores. Los pedúnculos están compuestos por grandes haces de fibras nerviosas que conectan el cerebelo con el resto del sistema nervioso. La capa superficial de cada hemisferio cerebeloso se denomina corteza y está compuesta por sustancia gris. La corteza cerebelosa presenta pliegues o circunvoluciones. La parte interna del cerebelo se denomina médula y está formada por sustancia blanca con núcleos de sustancia gris.



Cerebelo

## Cerebro medio o Mesencéfalo

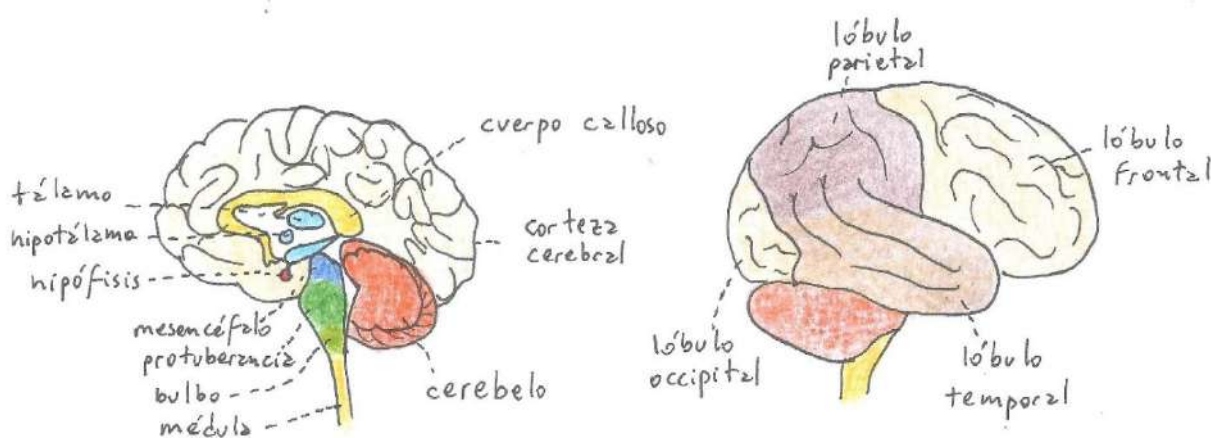
El mesencéfalo, es la parte estrecha del encéfalo que conecta el prosencéfalo con el rombencéfalo. El mesencéfalo contiene muchos núcleos y haces de fibras nerviosas ascendentes y descendentes. Está conformado por los pedúnculos cerebrales, que son de sustancia blanca y los núcleos rojos, los colículos superiores e inferiores y la sustancia nigra, que son de sustancia gris y en ellos hay cuerpos neuronales implicados en el control muscular. Por el centro del mesencéfalo pasa el acueducto mesencefálico.

## Cerebro anterior o prosencéfalo

Se divide en el diencéfalo y el telencéfalo. El diencéfalo está conformado por el tálamo, el subtálamo, el metatálamo y epitálamo, el hipotálamo y la hipófisis. Estas estructuras rodean el tercer ventrículo, desde el borde anterior del colículo superior hasta el foramen interventricular. El telencéfalo es la porción del prosencéfalo que da origen a estructuras pares, como los hemisferios cerebrales, los ganglios basales y las regiones olfatorias primarias, y a estructuras impares, como la lámina terminal, el cuerpo calloso y la comisura anterior. En el interior de cada uno de los hemisferios encontramos un ventrículo lateral.

El cerebro representa la parte más voluminosa del encéfalo, ocupa las fosas craneales anterior y media y se aplica sobre la tienda del cerebelo, que lo separa de la fosa craneal posterior. En el cerebro se diferencian dos hemisferios separados por una profunda fisura y conectados por una masa de sustancia blanca que se denomina cuerpo calloso. Cada hemisferio se extiende desde el hueso frontal al hueso occipital. La capa superficial de cada hemisferio se denomina corteza y está compuesta por sustancia gris. La corteza presenta pliegues o circunvoluciones, separados por cisuras o surcos que dividen la superficie en cinco lóbulos: frontal, parietal, occipital, temporal y de la ínsula. Dentro de cada hemisferio hay un núcleo de sustancia blanca que contiene varias masas de sustancia gris, los núcleos basales. Los núcleos basales son formaciones voluminosas, que están ubicadas entre la corteza cerebral por un lado y la base del cerebro y los pedúnculos mesencefálicos por el otro. De medial a lateral encontramos los núcleos caudado, lenticular y el claustró.

Su peso en término medio es de 1200g en el hombre y 1000g en la mujer, su forma es ovoide con su eje mayor anteroposterior.



Encéfalo

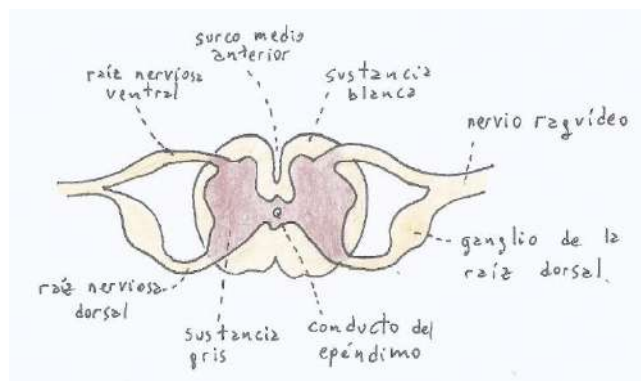
## Fibras de la sustancia blanca cerebral

Las fibras de sustancia blanca cerebral pueden extenderse de un hemisferio al otro (fibras comisurales o comisuras), pueden unir distintas partes de un mismo hemisferio entre sí (fibras de asociación), o pueden comunicar en forma descendente un hemisferio con alguna parte del tronco encefálico o de la médula espinal o en forma ascendente la médula espinal, el tronco encefálico, o el tálamo con la corteza cerebral (fibras de proyección).



## Médula espinal

La médula espinal corresponde a la porción más caudal del sistema nervioso central. Tiene la forma de un cordón nervioso casi cilíndrico, ligeramente aplanado en sentido anteroposterior y se adapta a las flexiones del conducto vertebral. Presenta dos ensanchamientos (intumescencias), uno ubicado en los segmentos cervicales y el otro en los segmentos lumbosacros. La médula espinal ocupa gran parte del interior del conducto vertebral. Está cubierta por sus envolturas meníngeas. En su límite superior se continúa con la médula oblongada y su límite inferior es el vértice del cono medular. En un corte horizontal la médula es circular con una fisura media anterior que se extiende en toda su longitud y un surco en la cara posterior. Existen raíces espinales anteriores y posteriores, las raíces anteriores son motoras y emergen de la médula espinal, las raíces posteriores son sensitivas y llegan a la médula espinal. Las raíces dividen la médula en 31 segmentos (8 cervicales, 12 torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo) y en conexión con cada segmento hay un par de nervios raquídeos. La sustancia gris se dispone en el interior en forma de H con un conducto central por donde circula líquido cefalorraquídeo, que se denomina conducto del epéndimo, y una porción periférica de sustancia blanca.



*Médula espinal*

## Sistema nervioso periférico

El sistema nervioso periférico está constituido por nervios y ganglios. Los nervios son cordones de sustancia blanca formados por axones y/o dendritas que conducen a los centros nerviosos los estímulos que provienen de la periferia, o que transmiten hacia la periferia los estímulos elaborados por los centros nerviosos. Los ganglios son estructuras formadas por los cuerpos de neuronas ubicados por fuera del encéfalo y médula espinal. Cada uno de los axones que forman los nervios se originan en un cuerpo neuronal y según la situación de estas neuronas se distinguen:

- nervios somáticos o de la vida de relación, que permiten la relación con el medio
- nervios autónomos, que participan en la regulación de la vida vegetativa y se dividen en simpáticos y parasimpáticos.

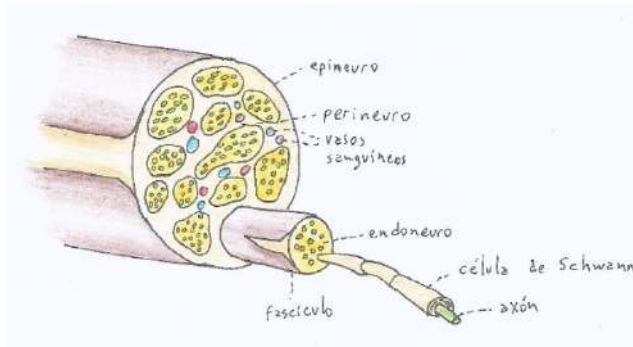
## Nervios

Un nervio es un haz de fibras nerviosas unidas por tejido conectivo. El término fibra nerviosa hace referencia a cualquier prolongación de una neurona, ya sea dendrita o axón. La mayor parte de un nervio periférico consiste en fibras nerviosas y sus células de sostén (células de Schwann). Las fibras nerviosas individuales y las células de Schwann asociadas se mantienen unidas por acción de un tejido conectivo organizado en tres componentes bien definidos:

Endoneuro: tejido conectivo laxo que rodea a cada fibra nerviosa individual

Perineuro: tejido conectivo que rodea cada fascículo de fibras nerviosas

Epineuro: Tejido conectivo denso que rodea todo el nervio y llena los espacios entre los fascículos



## Clasificación

Es válida para los dos sistemas

- Nervios centrípetos: el impulso va desde la periferia hacia el centro. Se los puede dividir en nervios sensitivos (sensibilidad de todo origen) y nervios sensoriales (órganos de los sentidos)
- Nervios centrífugos: en éstos el impulso nervioso se dirige desde los centros hacia la periferia. Se los divide en nervios eferentes (motores) somáticos para el sistema muscular estriado, nervios eferentes (motores) viscerales para los músculos lisos de los órganos o los vasos, y nervios eferentes secretorios
- Nervios mixtos: son los más numerosos y contienen fibras centrífugas y centrípetas.

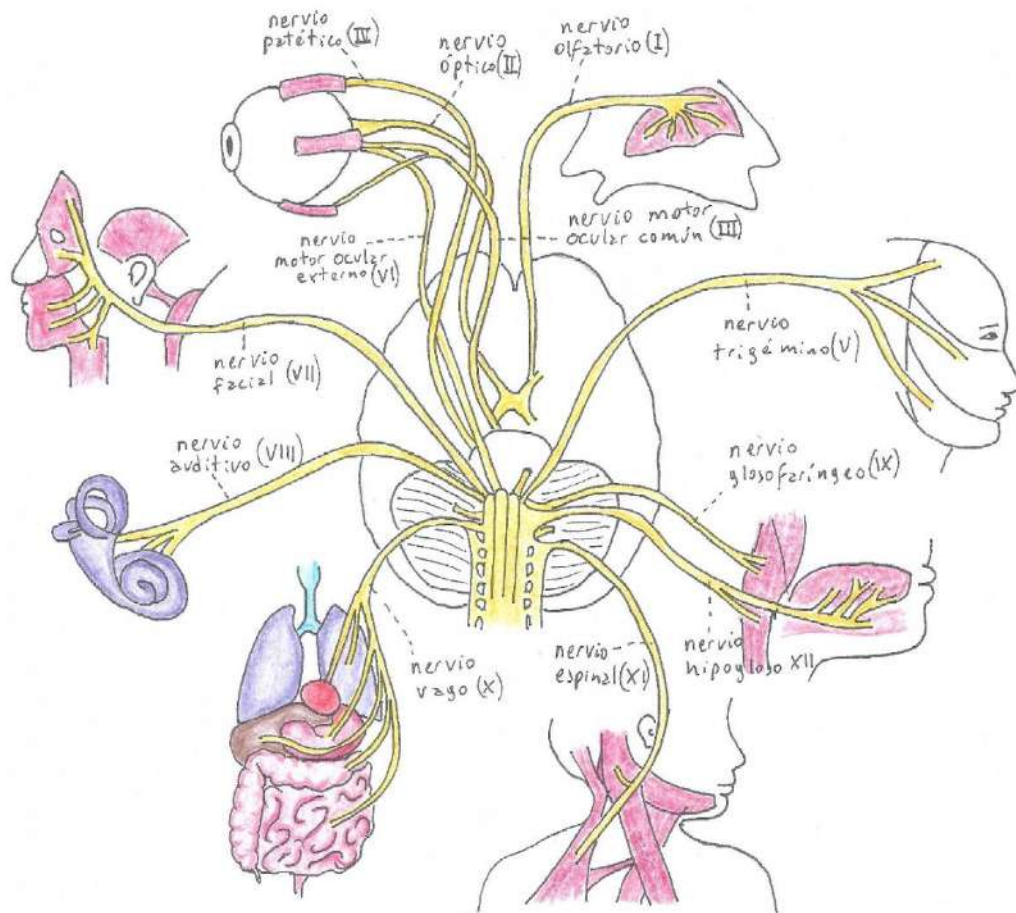
Según su origen los nervios se clasifican en craneales y espinales.

- Nervios craneales: Son 13 pares de nervios que se originan en el SNC y emergen del cráneo por forámenes de la base para llegar a los órganos que inervan. Se distribuyen a nivel de la cabeza, el cuello y las cavidades torácica y abdominal. Pueden ser sensoriales, sensitivos, motores o mixtos. Los nervios craneales tienen un origen real y otro aparente. El origen aparente de los nervios craneales corresponde al sitio por el cual los nervios emergen del tronco encefálico y el origen real corresponde al sitio donde están ubicados los núcleos de los nervios. Los nervios craneales olfatorio (I) y óptico (II) no se relacionan con núcleos del tronco encefálico y tienen algunas características que difieren de los demás. Los nervios craneales son:

- Nervio terminal (0).
- Nervio olfatorio (I).
- Nervio óptico (II).
- Nervio oculomotor (III).
- Nervio troclear (IV).
- Nervio trigémino (V).
- Nervio abducens (VI).
- Nervios facial (VII).
- Nervio vestibulococlear (VIII).
- Nervio glosofaríngeo (IX).
- Nervio vago (X).
- Nervio accesorio (XI).
- Nervio hipogloso (XII).

Cada uno de los nervios craneales está constituido por dos partes:

- Uno o varios centros encefálicos, los núcleos de los nervios craneales que conforman su origen o terminación real con sus conexiones.
- Un trayecto periférico con ramos colaterales, terminales y comunicantes



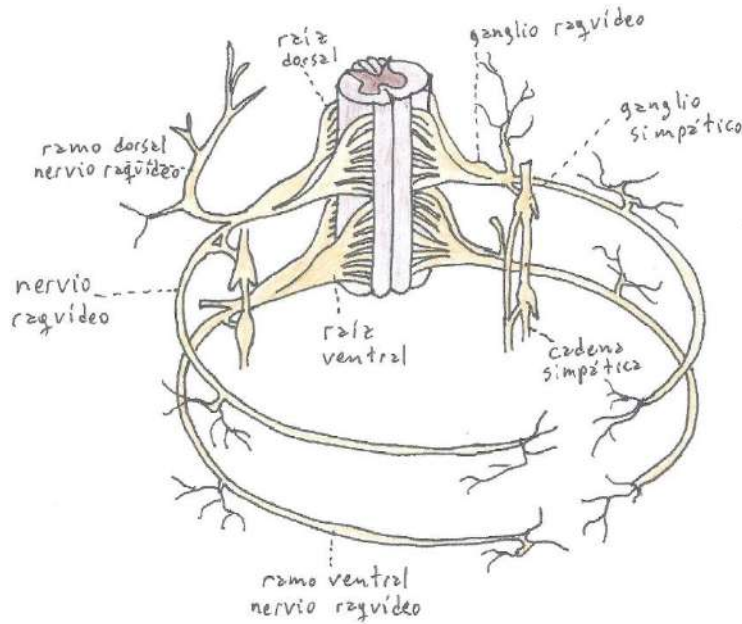
*Nervios craneales*

El nervio terminal sólo se encuentra en el ser humano durante el desarrollo embrionario. Por estar ubicado en dirección medial al nervio olfatorio, y porque fue descrito después que los otros nervios craneales, recibe el número cero. Es un pequeño nervio, probablemente autónomo, cuya función se desconoce y que está localizado a lo largo del nervio olfatorio entre la porción olfatoria y la sustancia perforada anterior. A lo largo del nervio terminal encontramos dispersas un grupo de células ganglionares que conforman el ganglio terminal.

- Nervios espinales o raquídeos: emergen por pares a la derecha y a la izquierda de la médula espinal, a partir de las raíces espinales anterior y posterior. Son nervios mixtos que contienen fibras motoras, sensitivas y del sistema nervioso autónomo. Se los divide en:
  - 8 pares de nervios cervicales
  - 12 pares de nervios torácicos
  - 5 pares de nervios lumbares
  - 5 pares de nervios sacros
  - 1 par de nervios coccígeos

En total, treinta y un pares de nervios espinales que llevan el mismo número de la vértebra por encima de la cual emergen de la columna vertebral hasta el séptimo nervio cervical, y de la vértebra por debajo de la cual salen de la columna vertebral, para todos los otros. Existe así un octavo nervio cervical que sale entre C7 y T1.

Las dos raíces espinales se reúnen a nivel del foramen intervertebral, entre los pedículos del arco vertebral, por detrás del cuerpo de la vértebra y del disco intervertebral, y por delante de los procesos [apófisis] articulares. El nervio está rodeado por la duramadre en relación con la arteria radicular, los plexos venosos anteriores y posteriores, y el tejido adiposo epidural.



Las raíces dorsales y ventrales se unen para formar los nervios raquídeos

## Sistema endócrino

Las glándulas pueden ser de secreción endócrina o exocrina, las exocrinas se caracterizan por tener conducto excretor y las endócrinas vierten su producto de secreción, las hormonas, directamente en el medio interno y son distribuidas por intermedio de los vasos sanguíneos.

La función del sistema endócrino es, junto con el sistema nervioso, la de regular las distintas funciones de células, tejidos, órganos y sistemas. La comunicación en el sistema nervioso es a través de impulsos y liberación de neurotransmisores a diferencia del sistema endócrino que esta comunicación se produce por medio de las hormonas. El sistema endócrino produce una respuesta más lenta y prolongada que el sistema nervioso. Ambos sistemas pueden actuar al mismo tiempo sobre las mismas células y tejidos diana y algunas neuronas secretan hormonas.

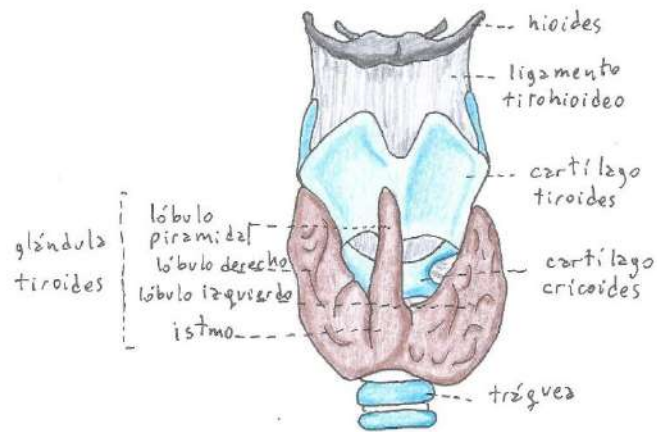
Las células glandulares endocrinas pueden estar diseminadas en diferentes órganos. En este caso estas células son un componente cuantitativamente menor de dichos órganos. Este importante conjunto de células endocrinas distribuidas forma el sistema endocrino disperso. Cuando las células glandulares endocrinas están agrupadas formando un órgano diferenciado, éste recibe la denominación de glándula endocrina.

Las glándulas endocrinas se encuentran en diversas regiones del cuerpo.

- En la cabeza: hipófisis y pineal
- En el cuello: tiroides y paratiroides
- En el abdomen: islotes pancreáticos
- En la región lumbar: suprarrenales
- En la región genital: tejido endócrino del testículo y ovario

## Tiroides

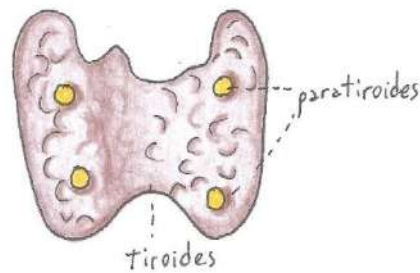
Es una glándula impar, casi simétrica, situada en la región cervical anterior, a la altura de C5 a T1, adelante y a los lados de la tráquea y de la laringe. Pesa entre 25 y 30 gramos. Está constituida por dos lóbulos unidos por un istmo, tiene forma de H, cada lóbulo consta de tres caras (anterolateral, posteromedial y posterior) y dos polos (superior e inferior). Del borde superior del istmo asciende el lóbulo piramidal, prolongación superior correspondiente al vestigio del conducto tirogloso que llega hasta el borde superior del cartílago tiroides. Está rodeada por una cápsula fibrosa. Produce las hormonas tiroideas  $T_3$  y  $T_4$ , y calcitonina.



Tiroides, vista anterior

## Paratiroides

Son pequeñas glándulas anexas a la glándula tiroides, son indispensables para la vida. Habitualmente encontramos cuatro glándulas paratiroides localizadas a lo largo de la cara posterior de la tiroides: dos superiores y dos inferiores, pero pueden presentarse variaciones numéricas, tienen forma y tamaño de una lenteja. Producen la hormona paratiroidea que junto con la calcitonina de la tiroides regulan los niveles de calcio en sangre.

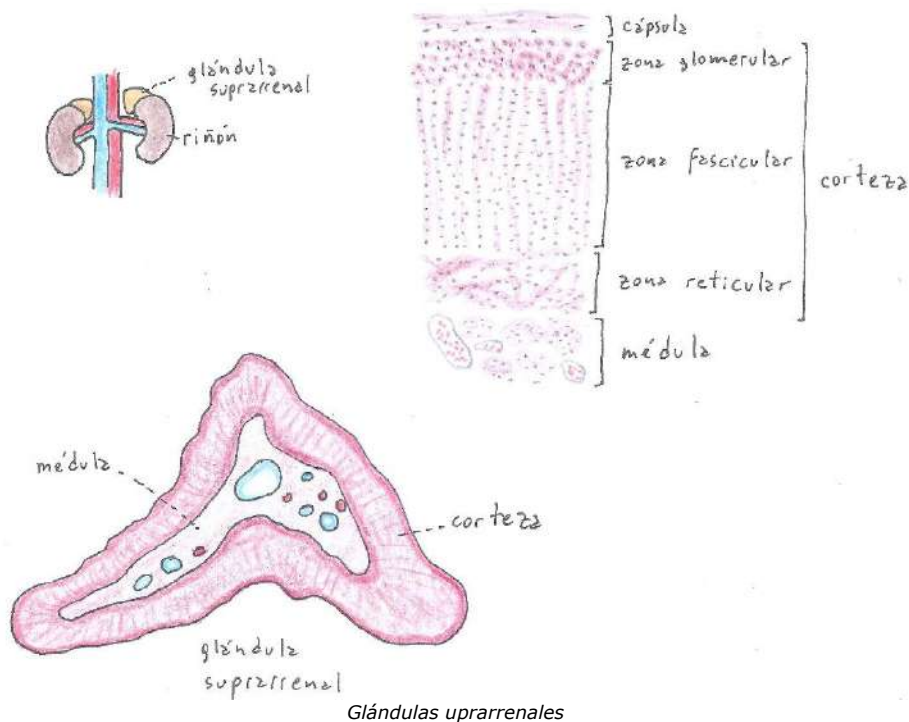


Vista posterior de la tiroides y Paratiroides

## Suprarrenales

Están ubicadas bilateralmente en la parte posterosuperior del abdomen, debajo y delante del diafragma, apoyadas en los polos superiores de los riñones sobre la cara anterolateral de la parte superior de la columna lumbar. Las glándulas suprarrenales están formadas por dos partes, la corteza y la médula, con funciones distintas, la corteza produce hormonas esteroideas (mineralocorticoides, glucocorticoides) y la médula produce adrenalina y noradrenalina.

Tienen forma un poco diferente, la derecha es triangular, aplanadas en sentido anteroposterior, la izquierda es más gruesa medialmente y tiene forma de casquete semilunar o gorro frigio. Las dos tienen una base cóncava que se aplica sobre los polos superiores de los riñones. Pesan alrededor de 12g cada una, son de color castaño amarillento y de consistencia bastante firme.



## Hipófisis

Es una glándula endócrina impar y mediana, conectada a la base del cerebro por el infundíbulo, se aloja en la silla turca que es una excavación del hueso esfenoides, en la fosa craneal media. Mide alrededor de 1 cm en sentido transversal, 8 mm de adelante hacia atrás y 6 mm en sentido vertical; pesa menos de 1 g.

Anatómica y funcionalmente se compone de dos lóbulos: una anterior o adenohipófisis que consta de tres partes la porción tuberosa cubre el infundíbulo, la porción distal más amplia y anterior, y entre estas dos está la porción intermedia, que limita con la neurohipófisis, y otro posterior o neurohipófisis que tiene dos porciones: el tallo o infundíbulo y la porción nerviosa o lóbulo neural. Está vinculada anatómica y funcionalmente con el hipotálamo, ya que regulan entre ambas muchas funciones del cuerpo y otras glándulas endócrinas.

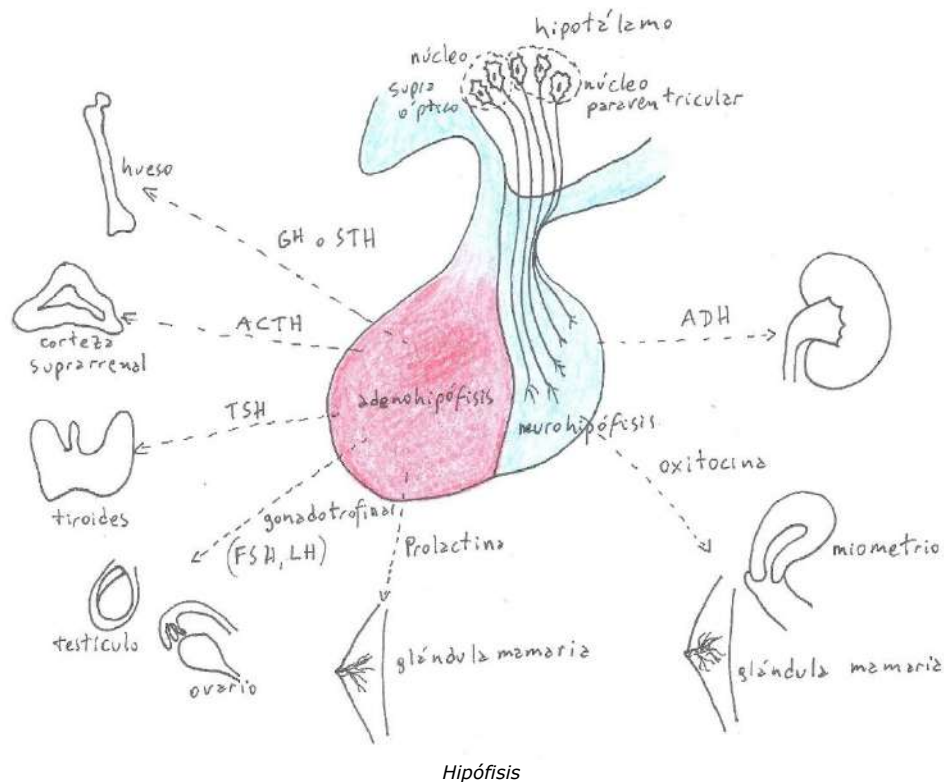
El **lóbulo anterior** produce y libera seis hormonas diferentes que regulan otras glándulas endócrinas y algunos tejidos no endócrinos. Las hormonas que produce son:

- Hormona del crecimiento, somatotrofina, GH o STH, que estimula el crecimiento corporal
- Prolactina, PRL, promueve el desarrollo de la glándula mamaria y la producción de leche
- Hormona adrenocorticotrofa, ACTH, estimula la corteza suprarrenal
- Hormona foliculoestimulante, FSH, estimula el desarrollo folicular en el ovario y la espermatogénesis en el testículo.
- Hormona luteinizante, LH, regula la maduración del folículo, la ovulación y la formación del cuerpo lúteo en el ovario y en el testículo estimula la producción de testosterona.
- Hormona estimulante de la tiroides, TSH, estimula a la glándula tiroides para su crecimiento y producción de hormonas.

El **lóbulo posterior** es una extensión del sistema nervioso central que almacena y libera hormonas sintetizadas en el hipotálamo y son:

- Oxitocina: estimula las células contráctiles para la secreción de leche en la glándula mamaria y la contracción del miometrio.
- Hormona antidiurética, ADH o vasopresina, disminuye el volumen de orina al aumentar la reabsorción de agua en los riñones.





## Sistema cardiovascular

Está formado por una bomba, que es el corazón, es un órgano hueco y muscular. El corazón impulsa la sangre a través de un sistema de vasos que son las arterias, venas y capilares. Las arterias conducen la sangre desde el corazón hacia todo el organismo. Los capilares son vasos con paredes muy delgadas, que permiten el intercambio gaseoso, de nutrientes y productos metabólicos. Las venas llevan la sangre hacia el corazón, proveniente de los diferentes órganos. Entre una arteria y un capilar hay una arteriola y entre el capilar y la vena hay vénulas.

### Tipos de circulación

Hay dos tipos: circulación mayor, general o sistémica y la circulación menor o pulmonar.

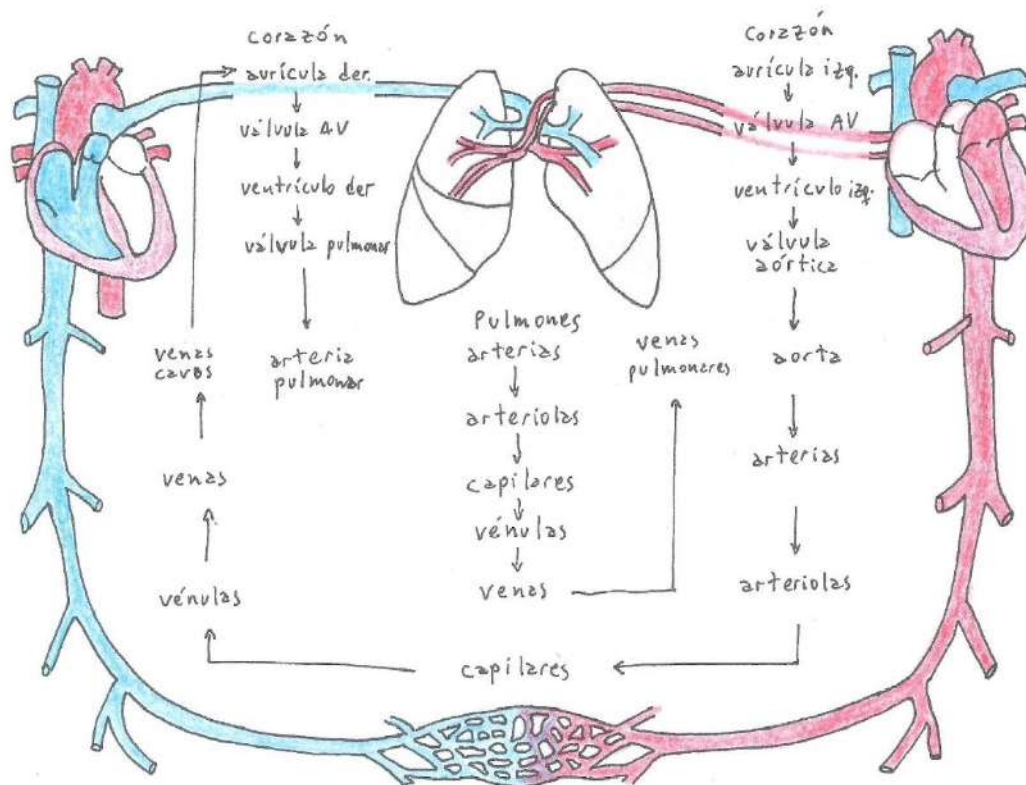
- Circulación mayor o sistémica

La sangre sale oxigenada a través del ventrículo izquierdo y se distribuye por todo el organismo a partir de la aorta y todas las ramas que salen de ella. Pasa por los capilares y vuelve al corazón a través de las venas cavas, llegando a la aurícula derecha.

- Circulación menor o pulmonar

La sangre que llegó a la aurícula derecha proveniente de la circulación sistémica pasa al ventrículo derecho y sale hacia los pulmones a través de las arterias pulmonares, que se capilarizan en los pulmones para producir el intercambio gaseoso (oxigenación) retornando al corazón por las venas pulmonares que llegan a la aurícula izquierda, luego va al ventrículo izquierdo y vuelve a comenzar el recorrido.





Esquema de la circulación menor y circulación mayor

## Casos particulares de circulación

- Pulmones: reciben una doble circulación, la funcional que corresponde a la circulación menor y la circulación nutricia que proviene de la circulación sistémica.
- Corazón: está irrigado por las arterias coronarias que nacen de la aorta y sus venas desembocan directamente en la aurícula derecha sin pasar por las venas cavas
- Hígado: igual que los pulmones tiene una doble circulación, una funcional proveniente de la vena porta hepática que recoge sangre desde el tubo digestivo; y una circulación nutricia que proviene de la arteria hepática que es rama de la aorta abdominal.

## Corazón

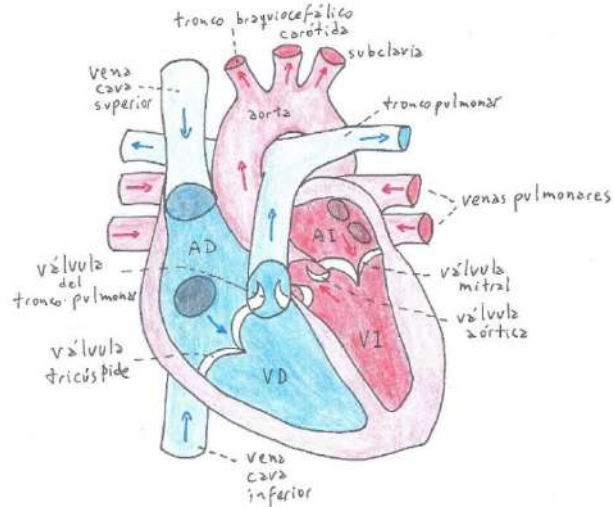
El corazón es órgano muscular hueco. Posee cuatro cavidades, cuando se relaja (diástole) atrae hacia sí la sangre que circula por las venas y cuando se contrae (sístole) expulsa sangre hacia las arterias. El corazón se sitúa en el tórax, detrás del esternón y de las costillas, en un espacio medio que se llama mediastino y este espacio se sitúa entre los dos pulmones. Está fijado y mantenido en su lugar por los grandes vasos que llegan y salen de él. Tiene forma de cono o pirámide donde podemos ver una base dirigida hacia atrás, arriba y algo a la derecha y un vértice o ápex dirigido hacia adelante y la izquierda. El corazón del hombre es un poco más voluminoso que el de la mujer y en un adulto pesa entre 200 y 250 gramos.

El corazón va a estar cubierto por una capa fibrosa e inextensible que lo recubre y protege, pero que al mismo tiempo permite el paso de vasos sanguíneos, esta capa se llama pericardio.

Hay dos pericardios:

- El más externo, que es fibroso y el más grueso.
- El más interno, que es seroso y es una capa más fina de tejido conjuntivo. Esta capa serosa se divide en dos hojas, una parietal y otra visceral. La parietal está en contacto con el pericardio fibroso y la visceral se adhiere íntimamente al corazón. Entre la hoja parietal y la visceral tenemos una cavidad, que es la cavidad pericárdica que en ocasiones puede llenarse de líquido o células.

El corazón está dividido por un tabique, en un corazón derecho y otro izquierdo. Estos están divididos otra vez en cavidades superiores, las aurículas, y cavidades inferiores, los ventrículos.



Corazón y vasos que entran y salen del mismo

## Configuración externa

El corazón tiene cuatro caras, tres bordes, una base y un vértice.

### Cara anterior (esternocostal)

La orientación de esta cara se dirige hacia la derecha, hacia arriba y hacia delante. Tiene un surco oblicuo que se llama surco coronario o auriculoventricular y separa las aurículas de los ventrículos. La cara anterior se va a dividir entonces en un tercio superior (aurículas) y dos tercios inferiores (ventrículos). En la porción superior de la cara anterior nos encontramos las orejuelas auriculares. Las orejuelas son prolongaciones de las aurículas y tienen diferente forma a la izquierda y derecha; estas dos van a estar separadas por la salida de dos arterias, la aorta y la pulmonar.

La porción inferior está ocupada por los ventrículos y de forma oblicua tiene un surco que es el surco interventricular anterior que va a separar a los dos ventrículos, el derecho y el izquierdo.

### Cara inferior (diafragmática)

Está apoyada en el diafragma, de forma triangular, dividida por el surco coronario o auriculoventricular, en una parte anterior que corresponde a los ventrículos, representa cuatro quintos de la superficie total; y una parte posterior, el quinto restante, que corresponde a la aurícula derecha.

### Cara pulmonar izquierda

Es la cara del corazón que está en contacto, a través del pericardio y la pleura, con la cara medial del pulmón izquierdo. La parte inferior y anterior corresponde al ventrículo izquierdo y la parte posterior y superior corresponde a la aurícula izquierda.

### Cara pulmonar derecha

Está formada por la pared lateral de la aurícula derecha, que se encuentra en relación a la cara medial del pulmón derecho, a través del pericardio y la pleura.

### Bordes

Son tres:

- Borde derecho: inferior, separa la cara anterior de la inferior, es un borde muy marcado.
- Borde superior: separa la cara anterior de la cara pulmonar izquierda, es redondeado y poco marcado.
- Borde izquierdo: separa la cara izquierda de la cara inferior, también es redondeado y poco marcado.

## Base

Es una verdadera cara, es posterior y está formada por la cara posterior de las dos aurículas y está dividida por el surco interauricular posterior; este surco es poco marcado.

## Vértice (ápex)

Es la punta del corazón, es redondeada y pertenece en su totalidad al ventrículo izquierdo. Se proyecta a nivel del cuarto o quinto espacio intercostal izquierdo.

## Configuración interna

El corazón es un órgano hueco dividido por un tabique en dos mitades, derecha e izquierda. De cada lado de este tabique hay dos cavidades, una aurícula y un ventrículo, separados por un orificio que contiene las válvulas auriculoventriculares. La válvula tricúspide del lado derecho y la válvula mitral del lado izquierdo. Las dos aurículas son cavidades de paredes delgadas y sin relieves en su cara interna. Los ventrículos son cavidades extremadamente irregulares, con salientes y relieves musculares en su cara interna.

## Aurícula derecha

En la cara posterior y en la parte superior nos encontramos que desemboca la vena cava superior. En la cara más inferior nos encontramos con dos orificios, uno más externo que es la desembocadura de la vena cava inferior y otra más interna que es la desembocadura del seno coronario. Ambos orificios tienen válvulas para que no revierta el flujo de sangre. En la zona media de la cara posterior nos encontramos la fosa oval, que es la comunicación interauricular del corazón en la fase fetal. En la porción antero interna vamos a encontrar la comunicación entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho que se llama orificio auriculoventricular.

## Aurícula izquierda

Es una cavidad que tiene un eje mayor de orientación transversal. Recibe las cuatro venas pulmonares y se abre en el ventrículo izquierdo por un orificio provisto de una válvula: la válvula auriculoventricular izquierda o válvula mitral. Está situada a la izquierda y por detrás de la aurícula derecha, de la que la separa tabique interauricular. Aun cuando posee la forma de una ampolla o de un amplio divertículo situado en la parte posterior del corazón, se considera que tiene seis paredes.

## Ventrículo derecho

Esta cavidad tiene la forma de una pirámide irregular cuyo eje mayor está dirigido hacia abajo, adelante y a la izquierda. Sus bordes son poco marcados, aunque pueden distinguirse tres paredes, una base y un orificio de salida. La pared anterior o esternocostal es delgada y se insertan formaciones musculares que constituyen el músculo papilar anterior, de este músculo parten cuerdas tendinosas que llegan a la valva anterior de la válvula tricúspide. La pared medial o septal corresponde al tabique interventricular, presenta pequeños pilares unidos a la valva septal de la válvula tricúspide. La pared inferior o diafragmática es difícil de ver porque está oculta por la válvula tricúspide. La base es vertical, está el orificio auriculoventricular rodeado por un anillo fibroso, en este anillo está la válvula tricúspide, que tiene forma de embudo que se introduce en el ventrículo derecho y tiene tres escotaduras que permiten distinguir tres valvas o cúspides. El orificio del tronco pulmonar se encuentra en la extremidad de lo que puede denominarse la porción de salida del ventrículo derecho. El orificio del tronco pulmonar está próximo a la pared anterior del ventrículo, dirigido hacia arriba, a la izquierda y atrás, prolongado por el eje mismo del tronco pulmonar. El orificio del tronco pulmonar tiene tres valvas semilunares.

## Ventrículo izquierdo

Tiene forma cónica, con vértice izquierdo e inferior (punta del corazón), se presenta circular en el corte, pero se pueden distinguir 3 paredes: lateral o izquierda, inferior o diafragmática, medial o interventricular (septal). Se describen un vértice, una base (orificio auriculoventricular) y el orificio de la aorta. La pared lateral se extiende en superficie desde el surco interventricular anterior hasta la rama marginal izquierda de la arteria circunfleja. En su parte inferior, en la cavidad ventricular, se inserta el músculo papilar anterior. La pared inferior o diafragmática está marcada por numerosos músculos papilares entre los que se destacan el músculo papilar posterior. Éste se origina entre el

tabique interventricular y la pared lateral. La pared medial corresponde al tabique interventricular. El vértice está formado por la reunión de las 3 paredes precedentes que convergen en el vértice del corazón. La base está representada por el orificio auriculoventricular, que es posterior e izquierdo. Tiene un anillo fibroso donde se fija la válvula auriculoventricular denominada mitral por su forma, las dos valvas están sostenidas por un conjunto de músculos papilares y de cuerdas tendinosas. La válvula mitral tiene forma de cono truncado y comprende dos valvas o cúspides muy desiguales. El orificio de la aorta está situado delante, encima y a la derecha del orificio auriculoventricular izquierdo. Su forma es circular. Está provisto de un sistema valvular: la válvula aórtica. Ésta consta de 3 valvas semilunares, que son una posterior, una derecha y una izquierda.

## Constitución anatómica del corazón

Las capas del corazón de fuera hacia dentro son:

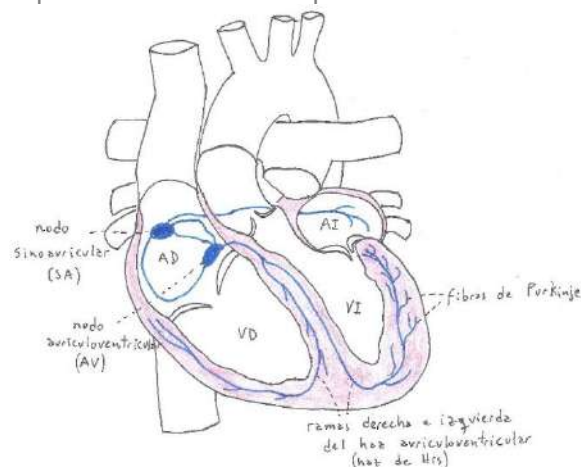
- Epicardio: la capa más externa que está pegada al pericardio visceral.
- Miocardio: es la capa muscular, es la porción más gruesa del tejido cardíaco, es músculo estriado cardíaco y va a tener vasos.
- Endocardio: es la más interna, es tejido conjuntivo y una capa de epitelio simple plano, y las válvulas auriculoventriculares son repliegues del endocardio revestidas por el mismo epitelio.

## Sistemas de conducción

El miocardio posee capacidad de contracción automática. Estas contracciones se producen en un orden bien definido. El origen de las contracciones y su transmisión a todas las partes del corazón corresponde al sistema de conducción del corazón (sistema cardionector). Está formado por unas células miocárdicas especializadas que se van a reunir en los nódulos, este sistema transmitirá los impulsos cardíacos y van a controlar el ritmo cardíaco.

Está formado por:

- nodo sinoauricular o sinusal: es el marcapasos del corazón y se va a situar en la cara posterior de la aurícula derecha en la desembocadura de la vena cava superior. Va a transmitir el ritmo de todo el corazón. Está unido al sistema de conducción mediante fibras sinusales y va a comunicarse con las aurículas y a transmitir el ritmo al nodo auriculoventricular.
- conjunto auriculoventricular: en el cual se distinguen el nodo auriculoventricular, el fascículo auriculoventricular (haz de His) y sus ramas derecha e izquierda y los ramos subendocárdicos (red de Purkinje). El haz de HIS se sitúa en el tabique interventricular en el lado derecho y después va a ir a la parte muscular del tabique. Después se divide en haz de HIS derecho e izquierdo. La red de Purkinje: el haz de HIS derecho va a ir por el lado derecho del tabique y se va a extender por todo el ventrículo derecho dando la red de fibras de Purkinje derechas. La rama izquierda tiene que atravesar o perforar el tabique interventricular e igualmente va a recorrer toda la pared ventricular izquierda llegando hasta la punta del corazón y da la red de fibras de Purkinje izquierda. Con esto se pretende tener un ritmo cardíaco adecuado.



Sistema de conducción del corazón

## Vascularización del corazón

Las arterias y venas del corazón están dispuestas en círculo alrededor del mismo y se las denomina vasos coronarios.

### Vascularización arterial

La vascularización del miocardio corre a cargo de las arterias coronarias, estas arterias son dos y proceden de la arteria aorta.

- arteria coronaria derecha

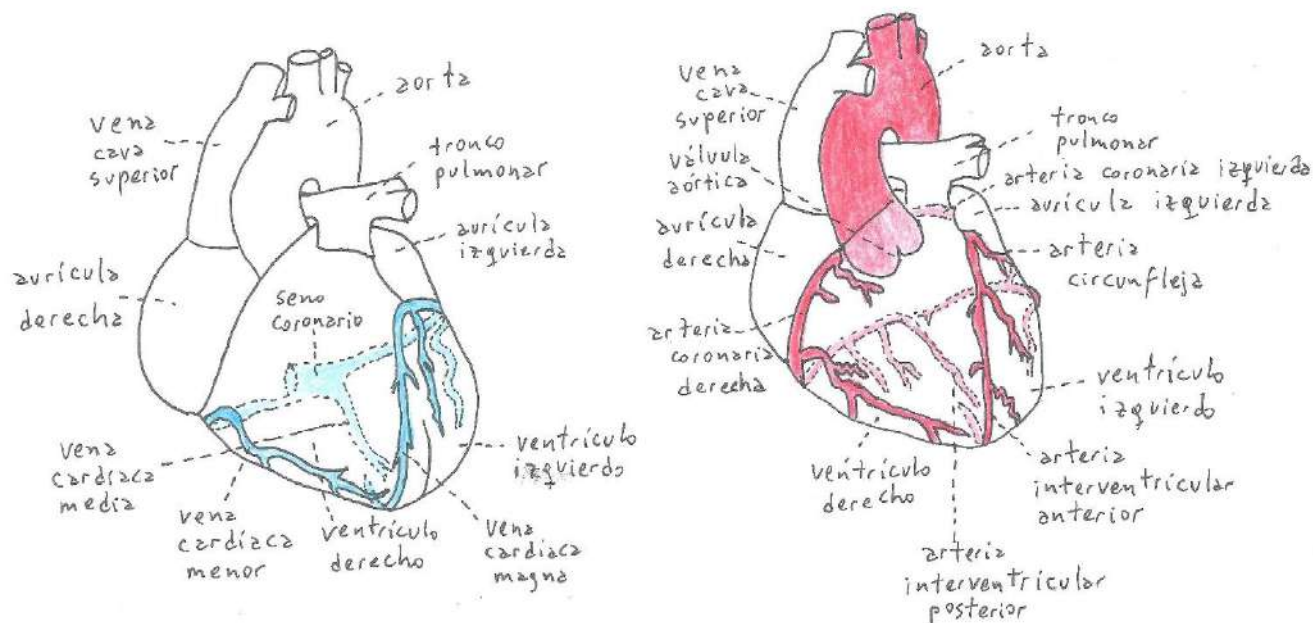
Nace en la aorta, a la altura del borde de la valva semilunar derecha y del seno aórtico correspondiente, va a descender desde él por el surco auriculoventricular anterior. Continúa por la región posterior en el surco interventricular posterior y se va a anastomosar con una rama de la coronaria izquierda. Va a irrigar la aurícula y ventrículo derecho.

- arteria coronaria izquierda

Procede de la arteria aorta a la altura de la valva semilunar izquierda y del seno aórtico y se va a introducir por el surco auriculoventricular posterior. Poco después de su nacimiento va a dar dos ramas: una que desciende por la cara anterior del corazón, arteria interventricular anterior, que llega hasta la punta del corazón; y otra que continua por el surco auriculoventricular posterior, que es la circunfleja, es la que se va a anastomosar con la coronaria derecha.

### Vascularización venosa

Su disposición no sigue a las arterias. Comprenden un conjunto principal, la vena cardíaca magna y el seno coronario, y un grupo de venas independientes, pequeñas venas del corazón y venas cardíacas mínimas. La vena cardíaca magna recibe las venas de la pared anterior de los ventrículos y de la pared interventricular. El seno coronario recibe a veces la vena oblicua de la aurícula izquierda, la vena posterior del ventrículo izquierdo, la vena interventricular posterior y la vena cardíaca menor.



Vascularización venosa y arterial del corazón

### Inervación cardíaca

Las dos partes del sistema nervioso autónomo envían fibras al corazón. Las fibras simpáticas (contenidas en los nervios cardíacos superior, medio e inferior) y las fibras parasimpáticas (en las ramas del nervio vago) se combinan para formar los plexos cardíacos, situados cerca del cayado aórtico. Desde los plexos cardíacos, las fibras acompañan a las arterias coronarias derecha e izquierda, y penetran en el corazón, donde la mayoría de ellas terminan en el nódulo SA, mientras que algunas lo hacen en el nódulo AV y en el miocardio auricular. Los nervios simpáticos del corazón también se denominan nervios aceleradores. Las fibras del vago que se dirigen al órgano cardíaco actúan como nervios inhibidores o depresores.

## Sistema vascular

### Sistema de la arteria aorta y sus ramas principales

Originada en ventrículo izquierdo es la encargada de distribuir en todo el organismo la sangre de la gran circulación. Se origina en la porción superior del ventrículo izquierdo, es el vaso más largo del organismo, y posee 3 porciones. En su comienzo posee una dilatación que es el bulbo aórtico, este posee unos 25 a 30 mm de diámetro. Se dirige oblicua adelante, arriba y a la derecha, luego se hace vertical, para dirigirse arqueada y horizontal, hacia izquierda y atrás (cayado aórtico), cuando alcanza la columna vertebral a la altura de T4 desciende verticalmente (Aorta Descendente Porción Torácica), para situarse delante y a la izquierda de las vértebras torácicas inferiores, atraviesa el diafragma (Comienzo de la Aorta Descendente porción Abdominal), y desciende en el abdomen delante de columna lumbar, termina a altura de L4 originando las dos arterias ilíacas comunes o primitivas derecha e izquierda.

A fines descriptivos se la divide en 3 porciones: aorta ascendente, arco aórtico o cayado aórtico y aorta descendente, con su porción torácica y abdominal.

Partes de la arteria aorta

- Aorta ascendente: Es la primera porción de aorta, en ella se originan las arterias coronarias izquierda y derecha que van a irrigar al corazón.

- Arco aórtico o cayado aórtico: Se dirige hacia atrás e izquierda, describe una curva cóncava. Parten arterias voluminosas, el tronco braquiocefálico, la carótida común izquierda y la subclavia izquierda, la primera a su vez, se divide para formar la arteria subclavia derecha y arteria carótida común derecha. Por su parte las arterias carótidas comunes se dividen en carótida externa y carótida interna.

- Aorta descendente: Es la sección que va desde el arco aórtico hasta el lugar donde se divide en las arterias ilíacas comunes. Se la divide en aorta torácica y abdominal. La aorta torácica va desde el final del cayado aórtico hasta el diafragma, luego continúa con la aorta abdominal, hasta la bifurcación de la misma en L4.

Aorta torácica: Empieza en la T4/T5 hasta el diafragma, su trayecto es descendente a lo largo de la columna vertebral en el mediastino posterior y termina cuando la aorta atraviesa el diafragma en el hiato aórtico. De esta parte proviene una serie de arterias intercostales y también da ramas mediastínicas, bronquiales, esofágicas y pericárdicas.

Aorta abdominal: Desde el hiato aórtico del diafragma hasta la L4/L5 donde se bifurca en las dos arterias ilíacas comunes. Su trayecto es profundo contra los cuerpos vertebrales y tiene dos tipos de ramas:

- ramas parietales (vasculariza las paredes):

Arteria diafragmática inferior (frénica inferior)

Arterias lumbares (hacia los músculos lumbares)

Arteria sacra media (hacia el sacro)

- ramas viscerales (vasculariza las vísceras):

Tronco celíaco del cual salen:

- Arteria gástrica izquierda (va hacia el estómago)
- Arteria hepática común (hacia el hígado)
- Arteria esplénica (vasculariza al bazo)

Arteria mesentérica superior

Arteria mesentérica inferior

Arterias renales

Arterias gonadales: en la mujer, arteria ovárica; en el hombre, arteria espermática.

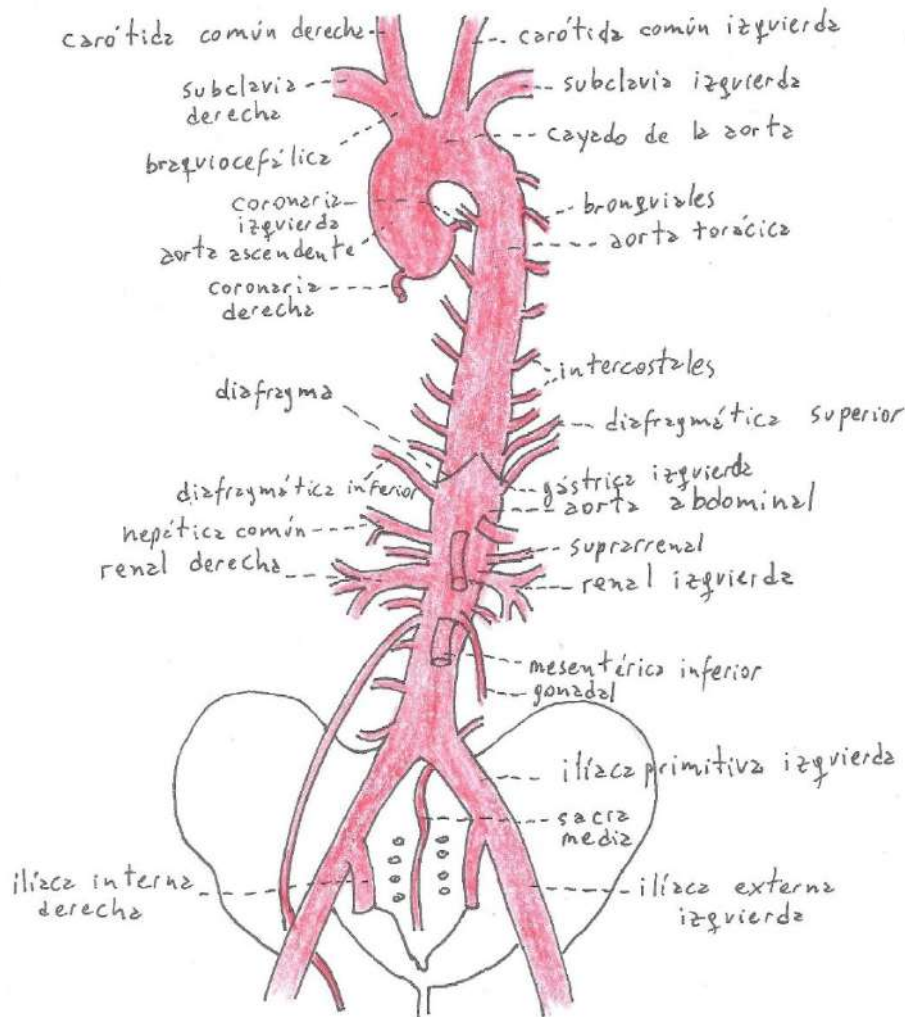
- ramas terminales de la aorta

Son las ilíacas primitivas, se dividen desde la aorta abdominal y tenemos la ilíaca primitiva derecha e izquierda; a su vez estas dos se dividen en ilíaca externa e interna.

- Ilíaca externa: se dirige hacia fuera y hacia abajo; llega a la ingle, al ligamento inguinal, lo atraviesa por debajo y a partir de ahí se llama arteria femoral. La arteria femoral va a ir por todo el muslo y cuando llega a la rodilla, al hueco poplíteo en la parte posterior de la rodilla, entonces se llama arteria poplíteo. Una vez que atraviesa la rodilla se divide en arteria tibial anterior y posterior. La Arteria Tibial Anterior se va a continuar a la altura del tobillo con la Arteria Dorsal del pie. La Arteria Tibial posterior que va a dar una rama importante denominada Arteria Peronea (arriba) y en la región inferior, en la zona de tobillo va a terminar en La Arteria Plantar interna (Media) y externa (Lateral).



- Ilíaca interna: va a ir por la parte interna y posterior de la pelvis hacia abajo. Va a dar las arterias glúteas.



Aorta y sus principales ramas

## Tronco pulmonar

Sale de la parte superior e izquierda del ventrículo derecho. Va a estar separada del ventrículo derecho por unas válvulas sigmoideas. Tiene una primera porción que es ascendente y después se divide en dos ramas:

- La arteria pulmonar derecha es más voluminosa y más larga, se origina en ángulo recto con respecto al tronco pulmonar, se dirige horizontalmente a la derecha y pasa bajo el arco de la aorta, por detrás de la vena cava superior y va a ir al hilio pulmonar derecho.
- La arteria pulmonar izquierda que se dirige al hilio del pulmón izquierdo, parece prolongar el tronco pulmonar.

## Sistema venas cavas

El retorno de la sangre al corazón está dado por dos grandes sistemas venosos: el de la vena cava superior para la cabeza, cuello y miembros superiores; y el de la vena cava inferior para todos los órganos situados por debajo del diafragma.

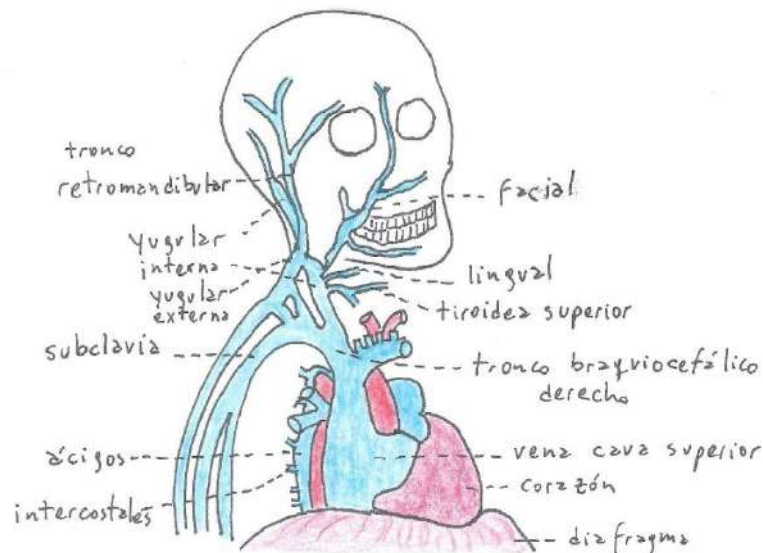
Al lado de los dos sistemas cava existe otra red venosa, situada alrededor de la columna vertebral, constituida por las venas lumbares ascendentes y las venas ácigos.

- Vena cava superior

La vena cava superior lleva la sangre de la cabeza, del cuello, de los miembros superiores a la aurícula derecha, por la vena ácigos llega la sangre de la pared torácica y de la vía paravertebral.

Las dos venas braquiocéfálicas se reúnen en el mediastino superior, detrás del primer cartílago costal derecho, dando origen a la vena cava superior. La vena pasa delante de la raíz pulmonar derecha,

penetra en el pericardio y termina en la aurícula derecha por un orificio avalvular. Su trayecto mide de 6 a 8 cm en el adulto. El calibre de la vena es de 20 a 22 cm. La vena cava superior es ovalada. El afluente principal es la vena ácigos. En ella terminan las venas bronquiales derechas, venas mediastínicas, venas esofágicas, venas pericárdicas, venas frénicas superiores derechas, la vena intercostal superior derecha, la vena hemiacigos, la vena hemiacigos accesoria, la vena subcostal y las venas intercostales posteriores



*Principales afluentes de la vena cava superior*

- Vena cava inferior

En este sistema confluye la sangre de los miembros inferiores y de la pelvis drenada por las venas ilíacas comunes cuya reunión constituye el origen de la vena cava inferior. Ésta recibe igualmente la sangre de la pared abdominal, de los riñones y de las glándulas suprarrenales, así como la de todas las vísceras intrabdominales. Esta sangre visceral atraviesa previamente el hígado (sistema porta hepático) y llega a la vena cava por las venas hepáticas. La vena cava inferior nace de la reunión de las dos venas ilíacas comunes, en el flanco derecho del disco intervertebral entre la 4ª y la 5ª vértebra lumbar, a 1 o 2 cm debajo de la bifurcación aórtica. La vena cava inferior atraviesa el diafragma por un foramen cuadrilátero, acompañada por el ramo abdominal del nervio frénico derecho. La vena ocupa el foramen y su adventicia se adhiere a él por tractos fibrosos. La vena cava inferior termina en la aurícula derecha, en la parte posterior y derecha de la cara inferior, por un orificio oblicuo adelante, abajo y medialmente. Su borde inferomedial presenta una válvula rudimentaria, la válvula de la vena cava inferior.

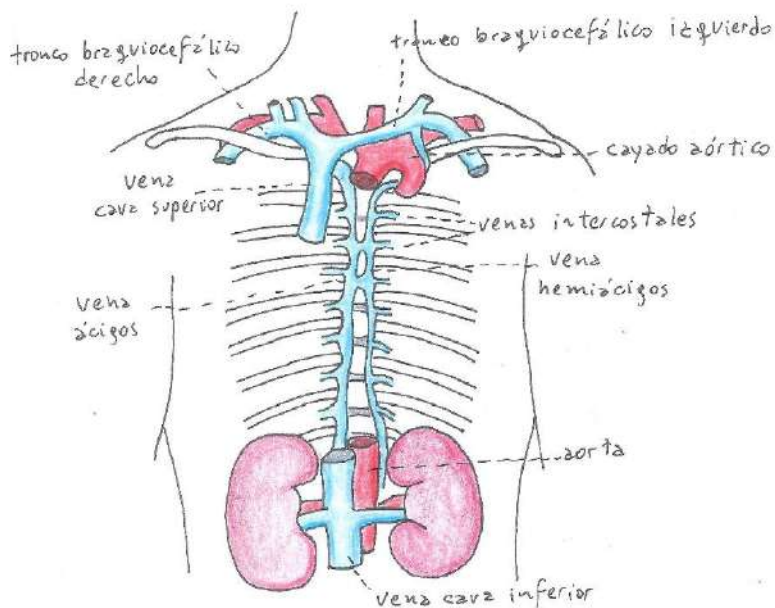
### Sistema de las venas ácigos

Se describen a la derecha la vena ácigos, a la izquierda la vena hemiacigos y la vena hemiacigos accesoria.

La vena ácigos es una vena del tórax, situada a lo largo de la columna vertebral torácica, de dirección vertical y ubicación laterovertebral derecha.

La vena Hemiácigos asciende en el mediastino posterior, detrás de la aorta, lateral al conducto torácico, adelante del tronco simpático y de las arterias intercostales posteriores izquierdas. A la altura de la 8ª vértebra torácica, se inclina a la derecha, cruza la línea media y desemboca en la vena ácigos. Recibe como afluentes las 5 últimas venas intercostales y la vena subcostal izquierda, venas vertebrales, esofágicas y mediastínicas.

La vena hemiacigos accesoria es variable. Drena las 7 primeras venas intercostales posteriores izquierdas. Desciende verticalmente a lo largo de la columna vertebral, se dirige oblicua hacia abajo y a la derecha, cruza la línea media por detrás de la aorta y del conducto torácico y desemboca en la vena ácigos.



## Venas pulmonares

Van a recoger la sangre de los bronquiolos y alveolos. Se van a dividir en cuatro venas pulmonares: una derecha, superior e inferior; y una izquierda, superior e inferior. Llevan la sangre oxigenada a la aurícula izquierda.

## Sistema inmunitario y órganos linfáticos

El sistema linfático consiste en grupos de células, tejidos y órganos que vigilan las superficies corporales y compartimientos internos, y reaccionan ante la presencia de sustancias potencialmente nocivas. Así el sistema inmunitario es capaz de diferenciar lo propio de lo no propio en forma muy precisa elaborando una respuesta inmunitaria ante el ingreso de microorganismos o moléculas extrañas. Los linfocitos son el tipo de célula que define al sistema linfático y son las células efectoras en la respuesta del sistema inmune contra agentes nocivos. Este sistema comprende los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos, el bazo, el timo, la médula ósea y tejido linfático difuso.

Los órganos linfáticos primarios comprenden la médula ósea y el timo, es donde se originan y tiene lugar la maduración de los linfocitos; y los secundarios son los ganglios linfáticos, el bazo y el tejido linfático difuso, que son las partes del sistema inmune donde ocurren las reacciones inmunitarias.

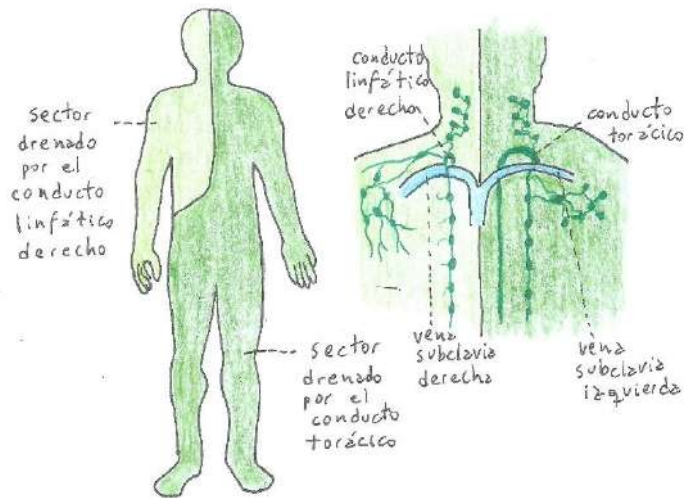
## Vasos linfáticos

Las vías linfáticas del organismo son drenadas por 2 colectores terminales: el conducto torácico a la izquierda y el conducto linfático derecho a la derecha. Éstos terminan en los confluente venoso yugulosubclavios correspondientes o en sus proximidades. En estos 2 conductos linfáticos colectores converge la linfa conducida por los troncos linfáticos principales: tronco yugular (derecho e izquierdo), tronco subclavio (derecho e izquierdo), tronco broncomediastínico (derecho e izquierdo), tronco lumbar (derecho e izquierdo) y troncos intestinales.

El conducto torácico es el tronco colector de todos los linfáticos del cuerpo con excepción del miembro superior derecho, de la mitad derecha de la cabeza, del cuello y del tórax, los que por su reunión forman el conducto linfático derecho. En su recorrido de 25 a 30 cm, el conducto torácico se sitúa detrás de la aorta.

El conducto linfático derecho concentra, en la base del cuello, los linfáticos supradiafragmáticos del lado derecho del cuerpo que no van al conducto torácico. Éstos son los troncos subclavios, el o los troncos yugulares (mitad derecha del cuello y de la cabeza), los linfáticos torácicos internos derechos, los linfáticos broncomediastínicos derechos y algunos del pulmón izquierdo. El conducto linfático

derecho es un pequeño conducto de 8 a 15 mm de longitud situado entre la vena yugular interna y la arteria subclavia derecha.



## Timo

Es un órgano cervicotorácico, impar y mediano, situado en la base del cuello, en la parte anterior del mediastino superior. Presenta un cuerpo, que concentra la mayor parte del órgano, con 2 lóbulos aplicados uno contra el otro y separados por un plano conectivo oblicuo hacia atrás y a la izquierda. La extremidad superior, con 2 cuernos, ascienden hasta la proximidad de la glándula tiroides pudiendo encontrarse unido a ella a través del ligamento tirotímico. La extremidad inferior o base, bastante ancha, puede hallarse bifurcada. Tiene forma alargada de arriba hacia abajo y aplanada en sentido anteroposterior.

## Médula ósea

La médula ósea se halla dentro de los huesos, entre las trabéculas del hueso esponjoso, es el órgano encargado de la producción de las células sanguíneas, entre ellas los linfocitos que forman parte del sistema inmunitario. Existe médula ósea roja, que es la hematopoyética y médula ósea amarilla formada por tejido adiposo. El proceso de hematopoyesis produce glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

## Bazo

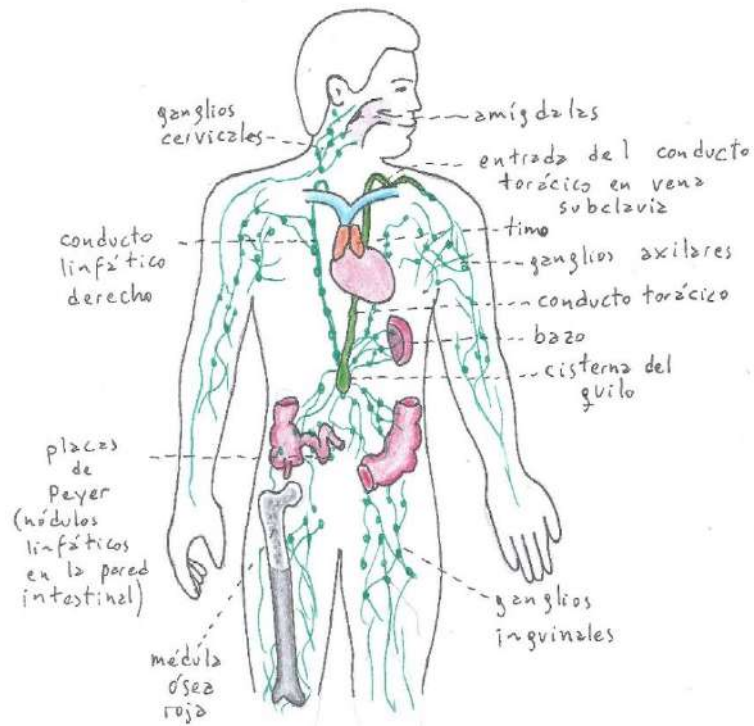
Es un órgano muy irrigado y drenado al sistema porta hepático. Situado a la izquierda, detrás del estómago, por arriba de la flexura cólica izquierda y de la extremidad superior del riñón izquierdo, es un órgano abdominal con relaciones torácicas. Tiene forma ovoide, con un eje mayor oblicuo, casi paralelo a la 10ª costilla. En él se describen dos caras, diafragmática y visceral, dos bordes, superior e inferior y dos extremidades, anterior y posterior. Mide de 11 a 13 cm de longitud, 6 a 8 cm de ancho y 3 a 4 cm de espesor y pesa alrededor de 200g. Es de color rojo oscuro, su superficie está recubierta por peritoneo, es blando y muy friable.

## Ganglios o nodos linfáticos

Los ganglios linfáticos son masas de tejido linfático de volumen variable que reciben vasos linfáticos aferentes y están drenados por uno o varios vasos linfáticos eferentes. Son redondeados u ovoides. Los vasos aferentes llegan a la periferia del ganglio por un punto cualquiera, mientras que los eferentes emergen por una depresión denominada hilio. Habitualmente son de color gris rojizo. Son superficiales o profundos. Algunos están aislados, pero más a menudo están dispuestos ya sea en cadenas o en grupos regionales: ganglios de la axila, del cuello, mediastínicos, abdominales, inguinales, etc. Su estructura está caracterizada por una cápsula fibrosa periférica, desde donde parten las trabéculas que son tabiques de tejido conectivo que circunscriben masas de células linfoides: los folículos. Éstos se encuentran rodeados por los senos perifoliculares, terminación de los vasos aferentes y origen de los vasos eferentes.

## Amígdalas

Bajo la mucosa de la boca y de la parte posterior de las fauces, en un anillo protector, se encuentran unas masas de tejido linfóide denominadas amígdalas. Su función es proteger frente a las bacterias que pueden invadir los tejidos de la zona situada alrededor de los orificios que comunican las cavidades nasal y oral. Las amígdalas palatinas están situadas a uno y otro lado de las fauces. Las amígdalas faríngeas, están próximas al orificio posterior de la cavidad nasal. Un tercer tipo de amígdala, la amígdala lingual, está cerca de la base de la lengua.



Órganos del sistema linfático

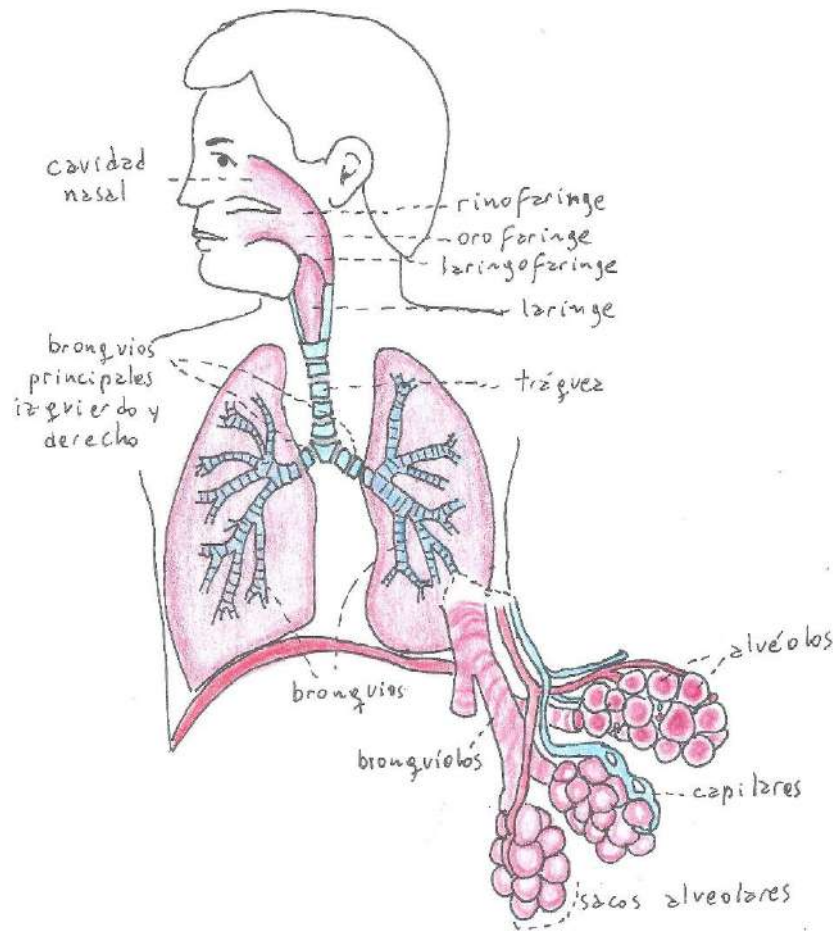
## Sistema respiratorio

Es el encargado del intercambio de gases entre el aire atmosférico y la sangre. El intercambio de gases se produce en la membrana alveolar y el aire que respiramos tiene que llegar limpio, caliente y húmedo; y esto se va produciendo en todo el trayecto del aparato respiratorio. Además, también tiene otras funciones como: fonación, sentido del olfato y homeostasis.

El aparato respiratorio está formado por:

- Pulmones
- Vías respiratorias: conducen el aire del exterior a los pulmones y viceversa. Comprende: fosas nasales, faringe, laringe, tráquea y bronquios.





Sistema respiratorio

## Nariz, fosas nasales y senos paranasales

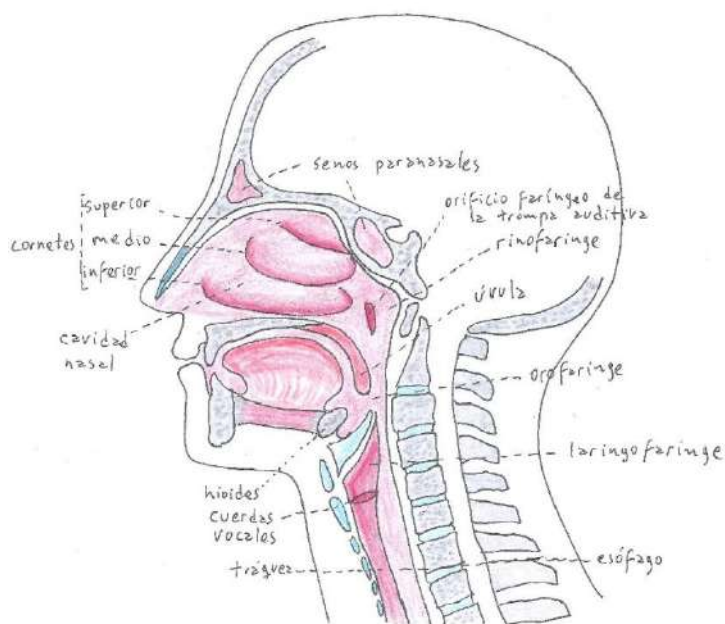
La nariz está situada en el medio de la cara, debajo de la frente, encima del labio superior y entre las mejillas. Tiene forma de pirámide triangular con la base orientada hacia abajo. Tiene un esqueleto osteocartilaginoso, un revestimiento externo (piel) y un revestimiento interno (mucosa) con abundante irrigación sanguínea. La cara posterior tiene dos canales que se comunican con las cavidades nasales correspondientes.

Las cavidades o fosas nasales son dos, una derecha y otra izquierda, están excavadas en el macizo óseo de la cara por debajo de la base del cráneo, por encima de la boca, y medial e inferiormente a los glóbulos oculares. Tienen la función del filtrado, calentado y humidificación del aire inspirado. Estas dos cavidades también tienen una función olfatoria porque en el techo se encuentra el epitelio olfatorio. Las fosas nasales se comunican con el exterior a través de unos orificios, las narinas y con la parte posterior o nasofaríngea a través de otros orificios, las coanas. Además, en las fosas nasales se van a abrir los orificios de los senos paranasales que son cavidades de algunos huesos craneales, son pares y se denominan frontal, etmoidal, esfenoidal y maxilar, revestidos por mucosa y con contenido aéreo.

Las fosas nasales están divididas por un tabique osteocartilaginoso en dos cavidades. Las paredes laterales de las fosas nasales son las más irregulares, tienen unos salientes que son los cornetes o conchas, hay un cornete superior, medio e inferior. Estos cornetes, limitados por la pared lateral, van a dar unos espacios que son el meato inferior, el meato medio y el meato superior. Los meatos se comunican con los senos paranasales. El meato inferior comunica con el conducto lacrimonasal; el meato medio se comunica por arriba con el seno frontal, el seno maxilar y con los senos etmoidales; y el meato superior se comunica con los senos etmoidales y con el seno esfenoidal. La pared superior está formada por los huesos propios de la nariz, la espina nasal del frontal, la lámina



cribosa del etmoides y el cuerpo del esfenoides. En la pared inferior están el maxilar y el palatino. La pared medial (interna) está formada por la lámina perpendicular del etmoides y el vómer.



Vías aéreas superiores

La nariz también va a tener un esqueleto cartilaginoso que es el tabique nasal, lateralmente también tiene cartílagos, y además tiene unos cartílagos alares. Todas las cavidades nasales van a estar recubiertas por mucosa, pero la región anterior en el vestíbulo va a tener una cubierta dérmica con pelos que se denominan vibrisas, que ayudan a filtrar el aire inspirado.

Sobre la base del tipo de mucosa, la cavidad nasal se divide en dos zonas. La región respiratoria está revestida por membrana mucosa respiratoria que entibia y humidifica el aire inspirado. La región olfatoria, revestida por membrana mucosa olfatoria donde se localizan los receptores del olfato. Para delimitar la función respiratoria y olfatoria tenemos el meato medio; lo que está por debajo él y de la cara lateral es la mucosa respiratoria y lo que está por encima es mucosa olfatoria. Las coanas se van a conectar con la nasofaringe. La naso o rinofaringe es la parte posterior de las fosas nasales.

## Laringe

Es un órgano hueco formado por cartílagos unidos entre sí mediante músculos que le dan movilidad, ligamentos y membranas. Es un órgano impar, simétrico y superficial. Se sitúa en la parte media y anterior del cuello, por debajo del hueso hioides y de la lengua, y por encima de la tráquea. Para evitar que los alimentos penetren en los conductos de la respiración, siempre que se produce la deglución se aplica al orificio superior de la rinofaringe, una especie de válvula denominada epiglotis. La laringe asciende en sonidos agudos y desciende en sonidos graves. La laringe no es igual en el hombre que en la mujer, varía con la edad y alcanza su máximo desarrollo en la etapa de la pubertad. Contiene las cuerdas vocales por eso es el órgano de la fonación.

La laringe está constituida por:

- Un esqueleto cartilaginoso, compuesto por distintas piezas que se dividen en cartílagos principales y cartílagos accesorios.
- Las articulaciones y ligamentos que los unen
- Músculos que la movilizan
- Mucosa que tapiza el interior del órgano

Los cartílagos principales son: cartílago tiroides, cricoides, epiglotis y aritenoides, y los accesorios son: corniculados, cuneiformes y dos o cuatro sesamoideos.

### **Cartílago tiroides**

Es el primer cartílago de la laringe, se sitúa en la línea media en la región anterior, por debajo del hioides y por encima del cartílago cricoides. En la región anterior está constituido por dos láminas laterales unidas en la región más anterior y forman un ángulo posterior, encima tenemos una escotadura que es la nuez de Adán. En la región posterior tendremos unos salientes o apófisis con forma de cuernos o astas. Tenemos las superiores o astas mayores y las inferiores o astas menores. Estas astas menores se articulan con el cartílago cricoides.

### **Cartílago cricoides**

Sobre este cartílago se apoya toda la laringe. Tiene forma de anillo de sello de tal forma que en la región anterior tiene forma de arco y en la región posterior tiene forma de lámina. En la parte más lateral del arco va a tener unas carillas articulares a ambos lados que se van a articular con el tiroides. En la parte posterior y superior, la lámina va a tener unas carillas articulares que se van a articular con el cartílago aritenoides. El cricoides en su parte inferior va a estar unido a la tráquea.

### **Epiglotis**

Tiene forma de hoja, es elástico y tiene un saliente o vértice inferior que anteriormente se articula con el tiroides unido por el ligamento tiroepiglótico. La región posterior va a estar recubierta por mucosa. Sobresale del cartílago tiroides.

### **Aritenoides**

Son dos, uno derecho y otro izquierdo, situados a ambos lados de la línea media. Tienen forma de pirámides triangulares, cuya cara interna es lisa y va a estar recubierta por mucosa. Los dos cartílagos están enfrentados por su cara interna. Encima de ellos están los corniculados.

La laringe además de regular el flujo del aire, es el órgano principal de fonación. En ella encontramos un espacio denominado glotis, delimitado por las cuerdas vocales, a través de las cuales pasa el aire que las hace vibrar.

Hay dos tipos de cuerdas vocales:

- Pliegues vestibulares (cuerdas vocales superiores o falsas): están formadas por los ligamentos tiroaritenoides superiores y carecen de músculo.
- Pliegues vocales (cuerdas vocales inferiores o verdaderas): están formadas por los ligamentos tiroaritenoides inferiores y los fascículos profundos de los músculos tiroaritenoides, se insertan en el ángulo interno del tiroides.

La laringe participa en:

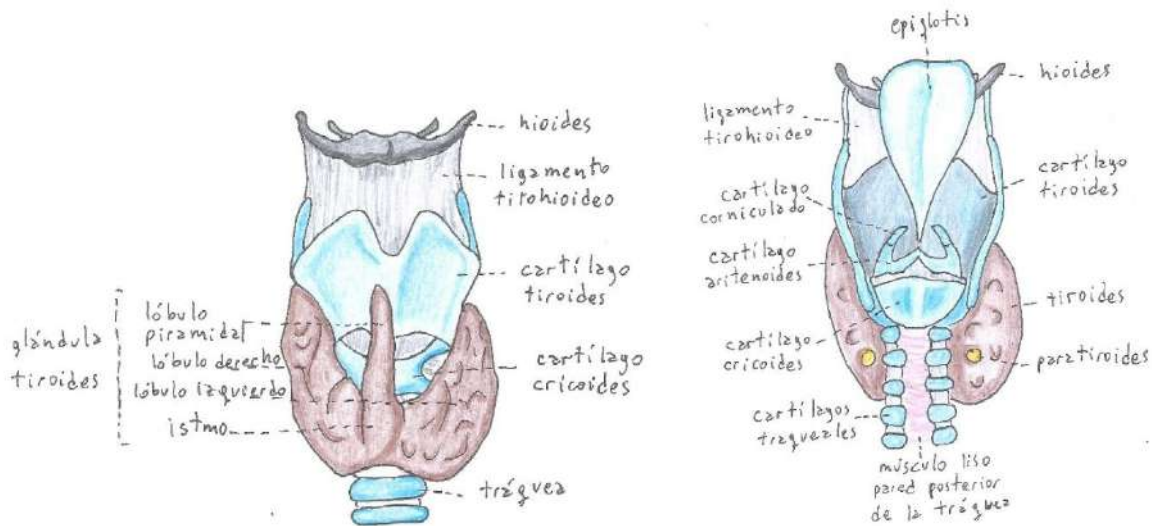
- La deglución: cierra la epiglotis y de esta manera evita el paso del bolo alimenticio a las vías respiratorias.
- La respiración: a través de la laringe pasa el aire a la tráquea.
- La fonación: es el aparato fibroso y su esqueleto y es el aparato motor de las cuerdas vocales.

### **Glottis**

Es la porción de la laringe que produce la voz, es el orificio de la laringe delimitado por las cuerdas vocales verdaderas o por los ligamentos tiroaritenoides inferiores. Las cuerdas vocales van a estar movidas por los músculos y los cartílagos de la laringe y están unidas por articulaciones. Los músculos a su vez van a ser los encargados de mover las cuerdas vocales. De tal modo que disminuye el orificio de la glottis o se dilata (separan las cuerdas vocales) dando lugar a la fonación.

Los músculos de la glottis son:

- Músculo cricoaritenoso posterior y lateral: apertura de la glottis.
- Músculo cricoaritenoso lateral y aritenoso transverso: cierre de la glottis.
- Músculo tiroaritenoso: cierre de la glottis.
- Músculo cricotiroideo y músculo vocal: tensión de las cuerdas vocales.



Anatomía de la laringe

## Tráquea

Es un tubo semirrígido, musculocartilaginoso por el cual circula el aire. Se origina en la base de la laringe y se extiende desde el cartílago cricoide hasta la altura de la 5ª vértebra dorsal en donde se bifurca en los dos bronquios principales derecho e izquierdo. Tiene forma de cilindro aplastado en su cara posterior, su estructura está formada por unos anillos cartilagosos incompletos en forma de C que la mantiene siempre abierta. Los anillos de cartílago tienen la abertura posterior cerrada por músculo liso.

Los cartílagos están conectados por tejido conjuntivo elástico y colágeno, esta membrana fibroelástica envuelve a los cartílagos y los une entre sí.

### El cartílago traqueal

El primero es más ancho que los demás y el último se ensancha en la parte interna, siendo parte común de los bronquios, este se llama carina. La parte interna está constituida por una mucosa respiratoria.

## Bronquios principales derecho e izquierdo

Existen dos bronquios principales en su origen, el derecho y el izquierdo. El bronquio derecho es vertical, ligeramente oblicuo y más corto; el izquierdo es más horizontal, tiene mayor diámetro y tiene forma de S porque está al lado del corazón. Se dirigen con la arteria pulmonar correspondiente para penetrar en los pulmones a través del pedículo o hilio pulmonar, en donde se ramifican repetidamente formando el árbol bronquial.

Cada bronquio principal se va a dividir en el interior del pulmón en bronquios lobares (bronquios secundarios), que dividen el pulmón derecho en tres (superior, medio e inferior) y el pulmón izquierdo en dos (superior e inferior). Cada uno de los bronquios lobares va a llevar el aire a sus lóbulos. Los bronquios lobares se vuelven a dividir en segmentarios (bronquios terciarios) que llevan el aire a cada segmento broncopulmonar. El pulmón derecho tiene diez y el izquierdo nueve. En el interior de cada segmento broncopulmonar, el bronquio segmentario da más divisiones. Los bronquios terciarios se dividen a su vez en bronquios más delgados que todavía tienen cartílago, pero siguen reduciéndose hasta que no tienen cartílago y se denominan bronquiolos. En la pared de los bronquios existen cilios que tienen moco y su función es limpiar el aire y atrapar las partículas en suspensión. A partir de los bronquiolos terminales tenemos los sacos alveolares y los alveolos en donde se produce el intercambio gaseoso de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

## Pulmones

Los pulmones, derecho e izquierdo, están situados en el tórax a ambos lados del mediastino. Tienen forma de semicono con vértice superior y base inferior. En ellos se pueden describir dos caras: costal y mediastínica, dos bordes: anterior e inferior, y una base. Cada pulmón está dividido en lóbulos desiguales por las fisuras interlobares.

Están rodeados por la pleura que se divide según su localización:

- Parietal: asociada a las paredes de la cavidad pulmonar.
- Visceral: tapiza íntimamente la superficie pulmonar.

Entre estas capas existe una fina capa de fluido cuya función es la de facilitar los movimientos respiratorios y que no haya fricción. Estas dos hojas pleurales se continúan una con la otra a nivel de la raíz pulmonar y del ligamento pulmonar.

El pulmón derecho, normalmente es más grande que el izquierdo, debido a que el mediastino medio, que contiene al corazón, está más a la izquierda que a la derecha. Cada pulmón tiene forma de medio cono, con una base, un vértice, dos caras y dos bordes.

- La base se apoya en el diafragma.
- El vértice se proyecta por encima de la 2ª costilla hacia la raíz del cuello.
- La cara costal: queda inmediatamente adyacente a las costillas.
- La cara mediastínica: se apoya por delante en el mediastino y por detrás en la columna vertebral, y contiene al hilio pulmonar.

El pedículo o hilio es un grupo de estructuras que conectan el pulmón a las estructuras del mediastino.

En su interior se encuentran:

- Una arteria pulmonar
- Dos venas pulmonares
- Un bronquio principal
- Los vasos bronquiales
- Nervios
- Linfáticos

Los recesos pleurales:

Son fondo de saco que se forman donde se unen diferentes partes de la pleura parietal. Las pleuras parietales están como pegadas, pero si el pulmón tiene que hacer una respiración forzada dispone de ese espacio.

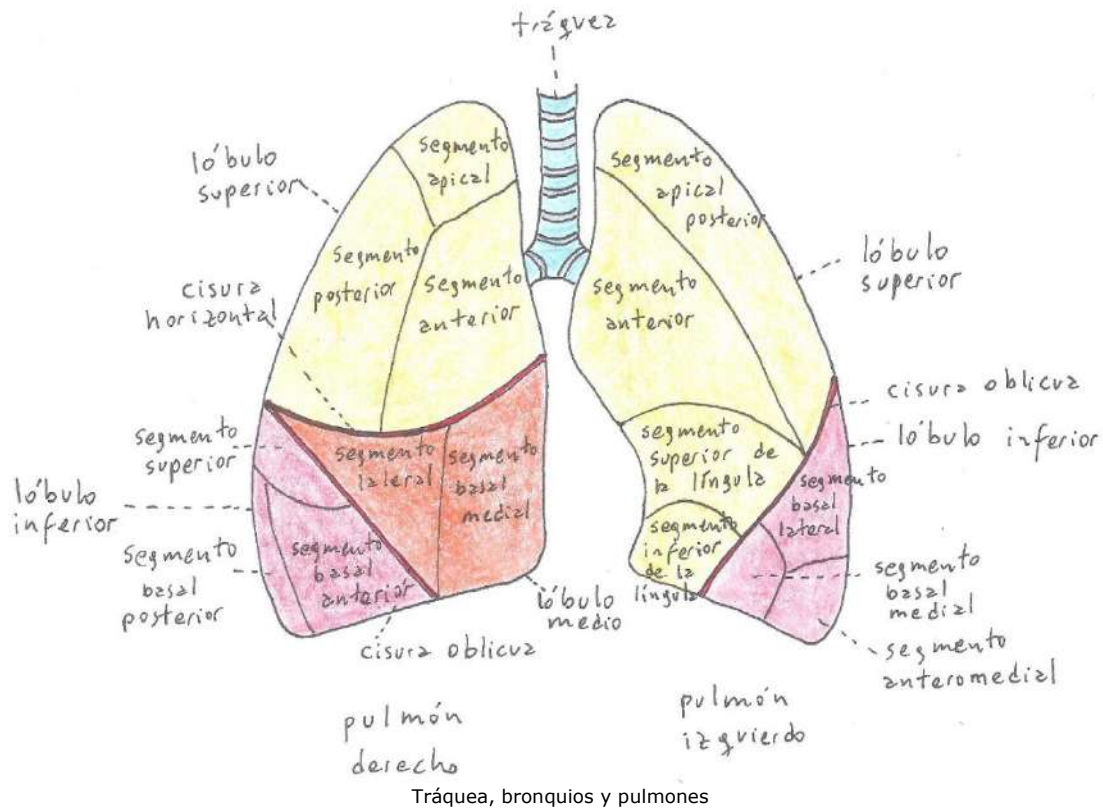
Las fisuras de los pulmones

- pulmón derecho

El pulmón derecho tiene tres lóbulos y dos fisuras. Una mayor u oblicua que divide el pulmón en un lóbulo inferior y superior y medio; y una fisura menor u horizontal que lo divide en superior y medio. La superficie medial o interna se relaciona con las siguientes estructuras: corazón, venas cavas, vena ácigos, esófago.

- pulmón izquierdo

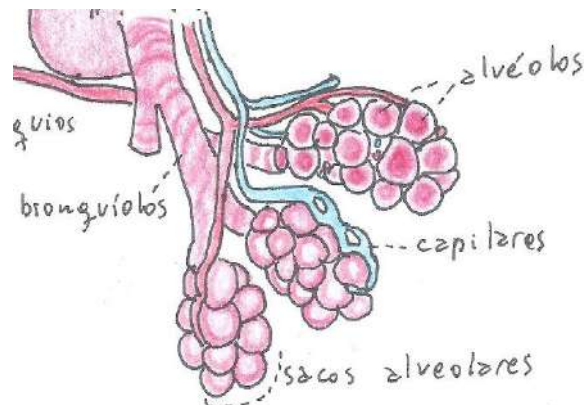
El pulmón izquierdo tiene dos lóbulos separados por una fisura oblicua. Su superficie medial o interna se relaciona con las siguientes estructuras del mediastino: corazón, cayado aórtico, aorta torácica y esófago.



### Los alveolos

Cada pulmón se compone de numerosos lobulillos, los cuales, a su vez, contienen a los alvéolos, que son las dilataciones terminales de los bronquiolos. La función principal de los pulmones es la hematosis en la que tanto el oxígeno como el dióxido de carbono atraviesan por difusión la barrera sangre-aire en forma pasiva, por diferencias de concentración entre las dos fases.

Los alvéolos son cavidades diminutas que se encuentran formando los pulmones. Sus paredes son muy finas y están compuestas únicamente por una capa de células epiteliales planas, por lo que las moléculas de oxígeno y de dióxido de carbono pasan con facilidad a través de ellas.

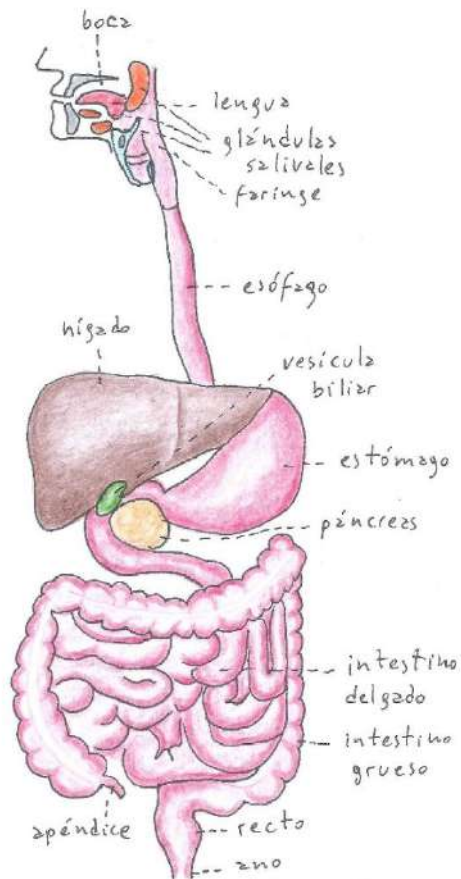


Broquiolos, conducto alveolar y alvéolos

## Sistema digestivo

El sistema digestivo ocupa parte de la cabeza, donde se origina, desciende por el cuello, atraviesa las cavidades torácica, abdominal y pelviana y se abre al exterior en la región perineal.

En este trayecto, el sistema digestivo comprende seis segmentos que forman el tubo digestivo: la boca, la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. Al tubo digestivo vierten su secreción las glándulas anexas que son: las glándulas salivales, el hígado y el páncreas. Es el responsable de las transformaciones fisicoquímicas y biológicas de los alimentos para que puedan ser absorbibles y asimilables por el organismo.



Sistema digestivo

### Tubo digestivo

#### Cavidad bucal

La boca es la primera porción del tubo digestivo. Es una cavidad de dimensiones variables, comunica con el exterior por el orificio de la boca y hacia atrás con la faringe por el istmo de las fauces. Contiene los dientes dispuestos en dos arcos y la lengua.

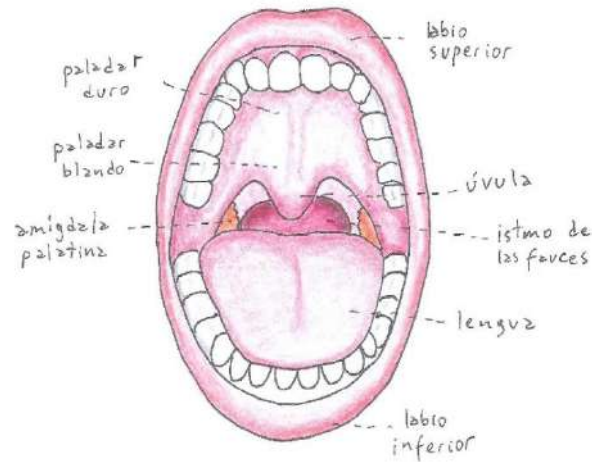
La cavidad oral va a tener distintas paredes:

- El techo, constituido por el paladar duro (el maxilar y el palatino) y el paladar blando, que es móvil (músculo del velo del paladar).
- El suelo de la cavidad bucal lo forman los músculos supra hioideos.
- Las paredes laterales las forman las mejillas, formadas por el músculo buccinador.

Dentro de la cavidad oral podemos distinguir dos partes:

- El vestíbulo: que son las mejillas, la hendidura labial y la arcada dentaria.
- La cavidad bucal: es desde la arcada dentaria hasta el istmo de las fauces.





*Cavidad bucal*

El paladar blando está formado por una prolongación central en la línea media que es la úvula y a partir de esta salen otras dos laterales que a su vez se dividen en dos, una posterior y otra anterior que son los pilares. Entre el pilar posterior y anterior de cada lado en medio queda una hendidura con tejido linfóide que son las amígdalas palatinas. Los frenillos labiales es la unión entre la hendidura labial y la mandíbula. Dentro de la cavidad oral está la lengua, formada principalmente por tejido muscular estriado esquelético, que se adapta a la cavidad y a la arcada dentaria; va a estar recubierta por una mucosa que tiene papilas de diferentes morfologías donde están los receptores del gusto. En la parte más posterior uniéndose el dorso con la base de la lengua tenemos una estructura que es la V lingual que contiene las papilas caliciformes.

En los arcos dentarios tenemos 32 dientes, 16 arriba y la misma cantidad abajo. Estos son: 2 incisivos mediales, 2 incisivos laterales, 2 caninos, 4 premolares, 6 molares.

Se denomina dentición a las etapas seguidas por el aparato dental para llegar a la etapa adulta. Existen dos denticiones: Dentición decidua o primera dentición (dientes de leche) y dentición permanente o segunda dentición.

## Faringe

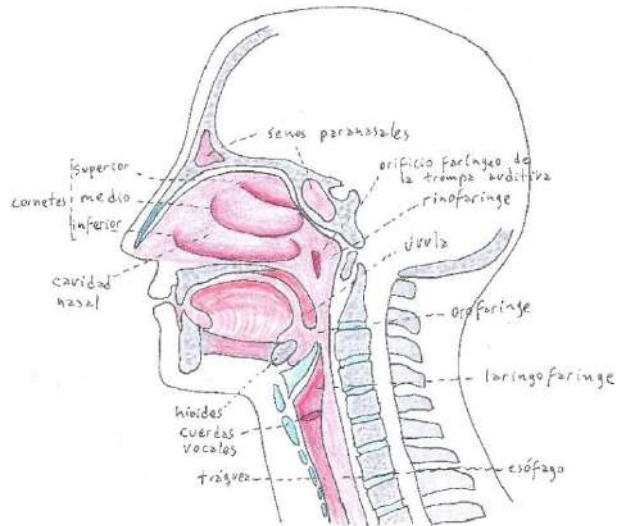
Es un canal muscular al que le falta la pared anterior. Está ubicada verticalmente por delante de la columna vertebral y detrás de las cavidades nasales, de la cavidad bucal y de la laringe. La parte anterior de la faringe forma la pared posterior de la laringe. Se continua hacia abajo con el esófago. Es un conducto compartido por las vías respiratorias y digestivas.

Interviene en la deglución, en la respiración, en la fonación y participa en la audición.

Se puede dividir en tres partes:

- Superior, nasal, nasofaringe o rinofaringe.
- Media, bucal u orofaringe
- Inferior, laríngea o laringofaringe

En la región superior de la faringe tenemos tejido linfóide que es la amígdala faríngea. Más abajo tenemos la lingual, que está en la parte posterior de la lengua. Las tres amígdalas (palatina, faríngea y lingual) forman el anillo linfático de WALDEYER. Posterior y lateralmente tenemos los músculos constrictores de la faringe (superior, medio e inferior) y también tenemos los elevadores del velo del paladar.

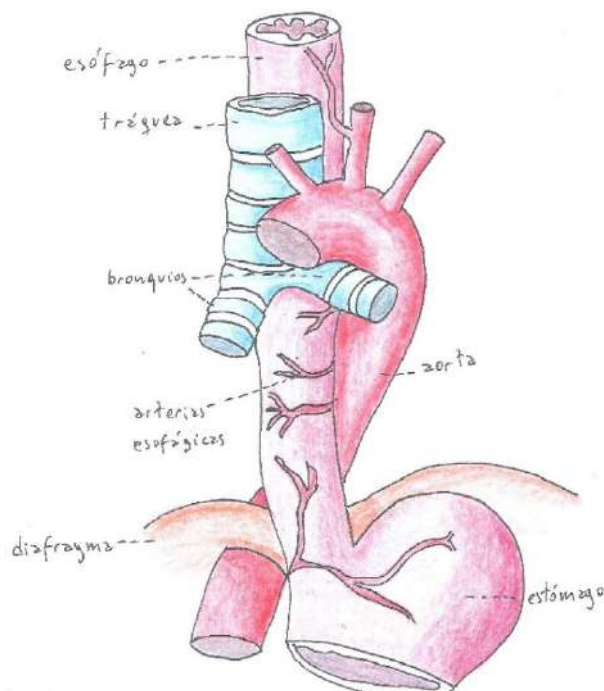


## Esófago

Es un tubo muscular, tapizado por mucosa, que va desde la faringe hasta el estómago. Ocupa la región prevertebral del tercio inferior del cuello y penetra en el tórax ubicándose en la región posterior del mediastino. Su longitud es de aproximadamente 25 a 30 cm.

Tenemos tres porciones del esófago:

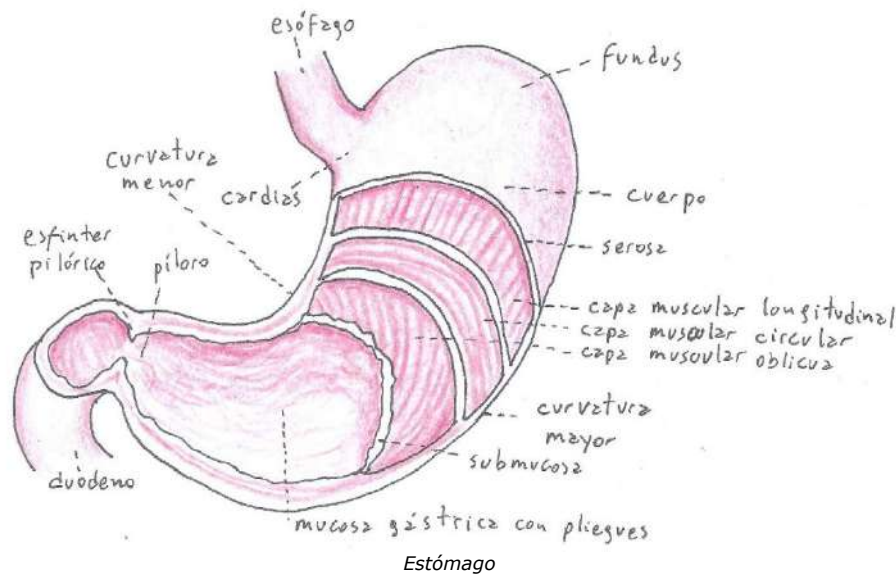
- La porción cervical se relaciona con las últimas vértebras cervicales y se sitúa delante de ellas. Se relaciona con la tráquea, y se relaciona lateralmente con unos paquetes vasculonerviosos a ambos lados que están formados por la carótida, la yugular interna y el nervio vago.
- El esófago torácico recorre el tórax hasta llegar al diafragma. Está delante de la columna vertebral a nivel del mediastino superior; se relaciona con la aorta en la parte posterior. Delante tiene el corazón y lateralmente tiene los pulmones.
- El esófago abdominal es después del diafragma, es la porción más pequeña. Va hasta el esfínter que se une con el estómago en el cardias.



*Esófago y sus principales relaciones*

## ESTÓMAGO

Es una dilatación del tubo digestivo, es un reservorio muscular, que se sitúa en la parte superior de la cavidad abdominal en la región del epigastrio. Tiene forma de J y su volumen es de aproximadamente 1300 ml. Va a estar cubierto en su porción posterior y superior por el diafragma, delante por el hígado y los músculos abdominales y por detrás parte del páncreas. Va a tener una cara anterior, otra posterior, un borde izquierdo convexo (o curvatura menor), un borde derecho cóncavo (curvatura mayor). El estómago se comunica con el esófago por el cardias. En la última porción está el antro pilórico y por último el píloro que comunica el estómago con el duodeno. El estómago tiene una primera porción, el fundus gástrico que es la parte más alta y ancha del estómago, una segunda porción que es el cuerpo, que tiene forma cilíndrica y por último el antro pilórico, que precede al píloro. La mucosa gástrica se caracteriza por tener muchos pliegues donde desembocan glándulas que producen el jugo gástrico rico en ácido clorhídrico.



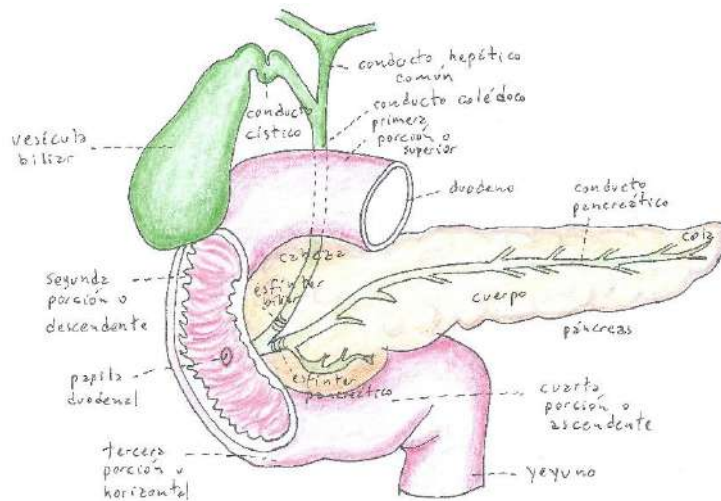
## Intestino delgado

Es la porción que continúa al estómago, se inicia después del píloro y termina en la válvula ileocecal que es donde se inicia el intestino grueso.

El intestino delgado tiene en promedio entre 6 y 7 metros de longitud y va a tener tres porciones:

**Duodeno:** es la primera porción del intestino delgado que va después del píloro, tiene forma de anillo incompleto dispuesto alrededor de la cabeza del páncreas y se divide en cuatro porciones y una terminación, la flexura duodenoyeyunal:

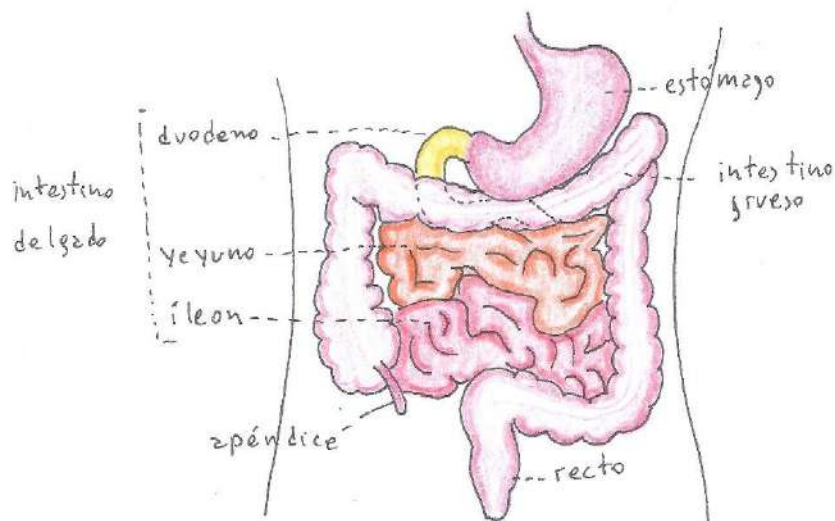
- La primera porción o porción superior: porción dilatada que va hacia arriba, atrás y a la derecha.
- La segunda porción o porción descendente: describe un ángulo recto y desciende en dirección vertical. Recibe las secreciones del conducto hepático y pancreático.
- La tercera porción o porción horizontal: forma un ángulo recto con la porción anterior, se dirige de derecha a izquierda y pasa delante de la columna vertebral.
- La cuarta porción o porción ascendente: se dirige hacia arriba, algo a la izquierda y hacia atrás.



*Duodeno, páncreas y vesícula biliar*

### Yeyuno e Íleon

El yeyuno y el íleon comprenden la parte del intestino delgado entre la flexura duodenoyeyunal y la unión ileocecal a nivel del ciego. Se caracterizan por su longitud, que describen numerosas asas delgadas, su movilidad y la importancia de sus funciones digestivas. Las asas intestinales se repliegan sobre sí mismas para ocupar la mayoría de la cavidad abdominal. Están sujetas y protegidas por los mesos del mesenterio que se une a la pared posterior del abdomen. El mesenterio, es una parte del peritoneo que une el intestino a la pared abdominal sujetándola y que contiene vasos sanguíneos. El peritoneo es una capa de tejido conjuntivo y epitelio que tapiza la cavidad abdominal y las vísceras.



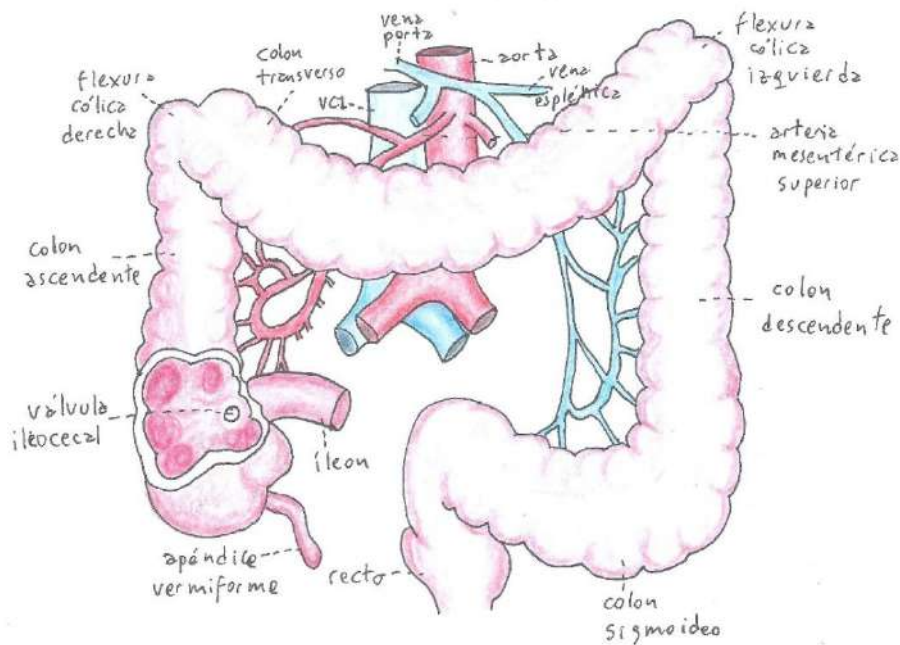
*Intestino delgado*

### Intestino grueso

Es la porción de tubo que va desde la válvula ileocecal, que está en el ciego, hasta la última porción que es el ano. Mide en promedio 1,5m de longitud y es la porción de tubo digestivo que tiene un diámetro mayor; este diámetro no es homogéneo, sino que tiene algunas dilataciones que se llaman haustras. De su pared externa van a colgar unos apéndices grasos que se llaman apéndices epiploicos. El intestino grueso se divide en varias porciones:

- Ciego y apéndice vermiforme: es la primera porción del intestino grueso, es la más dilatada, situado en la fosa ilíaca derecha, del ciego va a colgar el apéndice vermiforme. En el ciego vierte la válvula ileocecal.

- Colon ascendente: va desde la fosa ilíaca derecha por la región lateral derecha de la cavidad abdominal, va en sentido vertical y se dirige hacia el borde inferior del hígado. Termina en la flexura cólica derecha.
- Colon transverso: va desde el ángulo hepático del colon en sentido longitudinal u horizontal, se dirige a la izquierda donde se pone en contacto con el bazo formando un repliegue llamado flexura cólica izquierda en el hipocondrio izquierdo.
- Colon descendente: desde el ángulo esplénico del colon desciende por la región lateral izquierda de la cavidad abdominal hasta el colon sigmoideo.
- Colon sigmoideo: segmento terminal del colon, ubicado en la fosa ilíaca izquierda, y ascendería hasta la parte superior y media de la pelvis.
- Recto: desde la parte superior y media de la pelvis y desciende en sentido vertical por delante del sacro y cóccix hasta llegar a la última porción que es el ano.
- Canal anal: última porción del intestino grueso



Intestino grueso

## Glándulas anexas

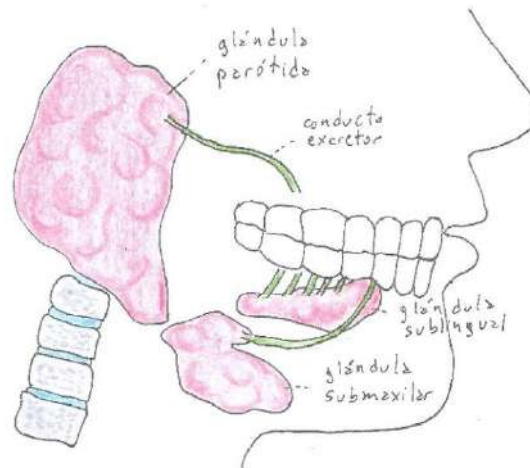
### Glándulas salivales

Son las encargadas de producir la saliva, que tiene importancia en la formación del bolo alimenticio, también en la boca se inicia la digestión química ya que la saliva contiene la enzima amilasa salival que inicia la digestión de los hidratos de carbono.

Las glándulas salivales se dividen en mayores y menores, las menores se encuentran distribuidas en toda la mucosa de la boca. Las glándulas salivales mayores son órganos pares y son: la parótida, la submaxilar y la sublingual.

- La glándula parótida: es la más grande, está situada por detrás y lateral a la rama de la mandíbula. La saliva que produce es drenada por el conducto parotídeo a la cavidad bucal.
- La glándula submandibular o submaxilar: está debajo e internamente del cuerpo de la mandíbula. Va a estar ligeramente posterior y detrás de la glándula sublingual y su conducto excretor va a drenar a ambos lados del frenillo lingual por el suelo de la boca.
- La glándula sublingual: es la más pequeña situada en la región sublingual o piso de la boca y va a estar cubierta por mucosa de la cavidad bucal y se va a situar entre la lengua y la cara medial del cuerpo de la mandíbula. Su conducto desemboca lateral al submandibular.





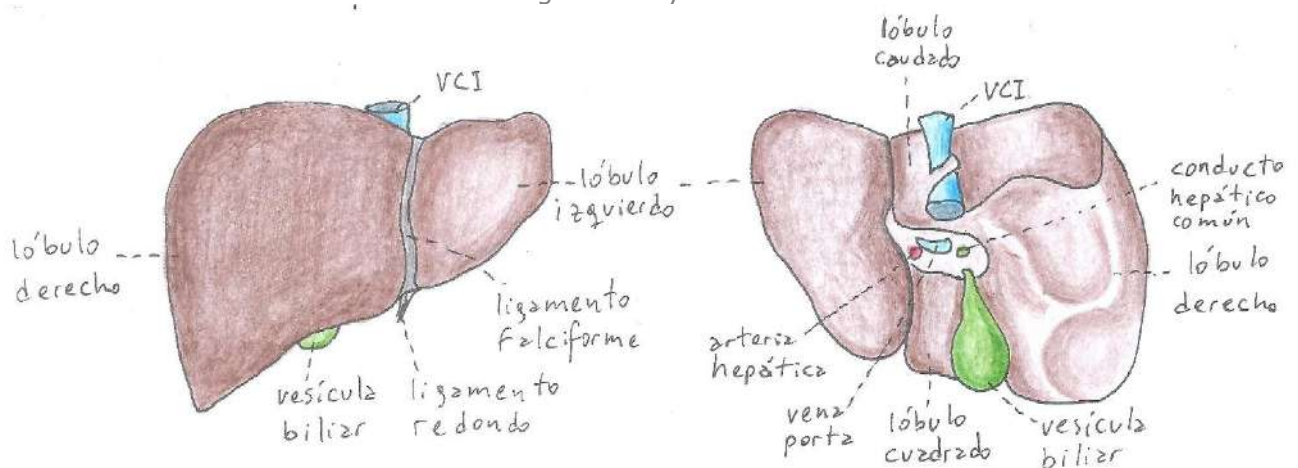
Glándulas salivales

## Hígado

Es una glándula anexa del tubo digestivo que actúa en la digestión, produce la bilis, producto de su secreción exocrina. Es el órgano más voluminoso del organismo, situado debajo del diafragma, por encima del duodeno y por delante del estómago; ocupa el hipocondrio derecho y parte del epigastrio. Está rodeado por peritoneo y por una membrana propia, la cápsula fibrosa del hígado.

Tiene dos caras y un borde:

- Cara diafragmática: está cubierta por el diafragma y se va a unir a él por una porción de peritoneo dividiendo la parte superior en dos lóbulos, derecho e izquierdo.
- Cara visceral: es la cara inferior, está la vesícula biliar, en esta cara encontramos también el hilio hepático con arterias hepáticas, venas hepáticas, el conducto hepático y la vena porta. En el lado derecho se va a relacionar con el ángulo hepático del colon. A pesar de que esta cara inferior está dividida en dos caras derecha e izquierda, también tenemos dos lóbulos más: un lóbulo caudado que se sitúa en la región posterior en relación con la vena cava inferior y un lóbulo cuadrado que está en la región anterior y se relaciona con la vesícula biliar.
- Borde inferior: une las caras diafragmáticas y visceral.



Vistas anterior e inferior del hígado

El hígado tiene innumerables funciones, muchas proteínas plasmáticas son producidas por el hígado, que además desempeña un papel importante en la captación, almacenamiento y distribución de sustancias nutritivas y las vitaminas que circulan en sangre. También mantiene la concentración sanguínea de glucosa y regula concentraciones de lipoproteínas. Además, es un órgano detoxificante porque degrada o conjuga muchos fármacos o tóxicos. Almacena vitaminas liposolubles (A,D,K),



hierro y glucógeno. La función exocrina del hígado está dada por la secreción de bilis y la función endócrina está relacionada con la capacidad de modificar la estructura y función de muchas hormonas.

## Vías biliares

La bilis elaborada por las células hepáticas es evacuada del hígado por los conductos biliares. Estos conductos son primero intrahepáticos, saliendo dos conductos, uno izquierdo y otro derecho que se unen para formar el conducto hepático común. Éste recibe al conducto cístico y forman el colédoco que desemboca en el duodeno.

## Vesícula biliar

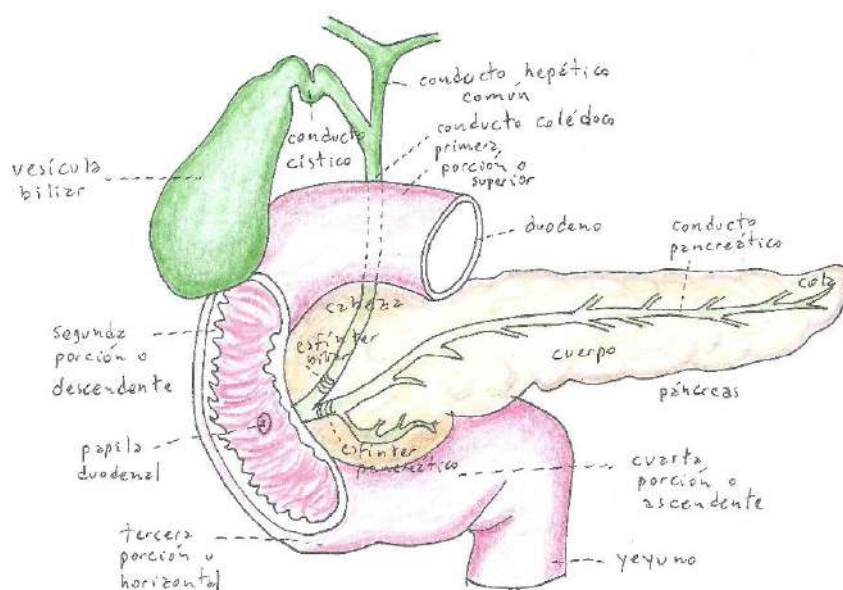
Es un reservorio fibromuscular con forma de pera ubicada en la cara visceral del hígado. Almacena y concentra la bilis.

## Páncreas

El páncreas es una glándula mixta de secreción exocrina y endócrina. El componente exocrino sintetiza y secreta enzimas hacia el duodeno, éstas son indispensables para la digestión en el intestino. El componente endócrino sintetiza hormonas que se vierten en la sangre, que regulan el metabolismo de la glucosa, los lípidos y las proteínas; las hormonas son: insulina, glucagón, somatostatina y polipéptido pancreático. Es un órgano que está íntimamente relacionado al duodeno. Tanto desde un punto de vista morfológico como funcional ya que se va a adaptar a las distintas porciones del duodeno (marco duodenal). El páncreas va a tener una cabeza, un cuerpo y una cola. La cabeza se adapta al marco duodenal y la cola se desplaza hacia el hipocondrio izquierdo para relacionarse con el bazo.

En el interior va a haber una serie de conductos:

- Un conducto superior, accesorio o de Santorini, que va a secretar a la segunda porción del duodeno.
- Un conducto inferior, principal o de Wirnsung, que va a secretar junto con el colédoco a la segunda porción del duodeno.



Páncreas y vesícula biliar

## Peritoneo

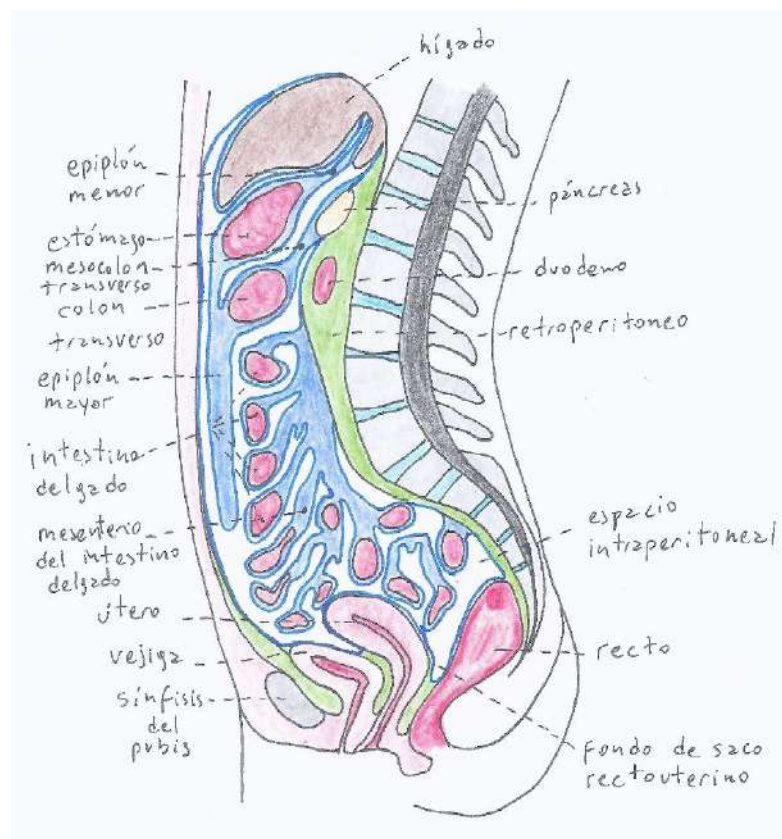
Es una túnica serosa que tapiza las paredes de la cavidad abdominal y a los órganos que contiene. Como toda serosa comprende:

- Una hoja o lámina parietal, solidaria de las diferentes porciones de la pared abdominal y pelviana.
- Una hoja o lámina visceral, muy delgada que se adhiere a los órganos intraabdominales.

Estas dos hojas se continúan una con otra sin solución de continuidad allí donde de la pared se originan los vasos, nervios o ligamentos que conectan las vísceras a la pared abdominal. Entre las hojas parietal y visceral se interpone la cavidad peritoneal.

### Formaciones peritoneales

- Mesos: son hojas portadoras de vasos que relacionan una víscera con la pared abdominal. Están constituidos por dos hojas que continúan el peritoneo visceral al peritoneo parietal y encierran un espacio donde hay tejido adiposo, vasos y nervios formando la raíz de la víscera.
- Ligamentos: son similares a los mesos pero entre las dos hojas no hay una raíz vasculonerviosa importante, sino un armazón fibroso de inserción.
- Epiplones: estas formaciones poseen dos hojas que reúnen dos vísceras vecinas.
- Fascias de coalescencia: las dos hojas en contacto se unen y son reemplazadas por una hoja conjuntiva que produce el adosamiento.

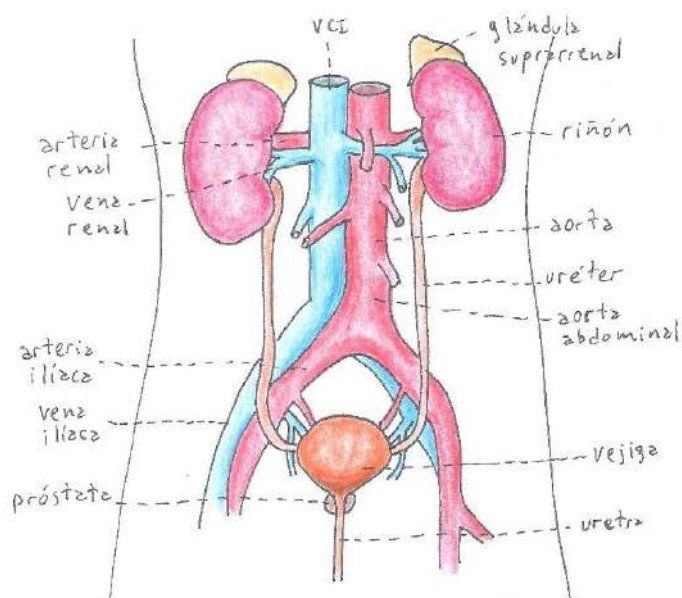


Peritoneo

## Sistema urinario

El sistema urinario se encarga de secretar, almacenar y excretar la orina. El órgano que se encarga de producir la orina es el riñón, que la evacúa por las vías excretoras que son los cálices y la pelvis renal, a partir de cada pelvis renal la orina recorre el uréter que la conduce a la vejiga donde se almacena y por último se elimina por la uretra. Los riñones también tienen función endócrina, porque producen:

- eritropoyetina, hormona que estimula a la médula ósea para la producción de glóbulos rojos.
- renina, que contribuye al control de la presión arterial.



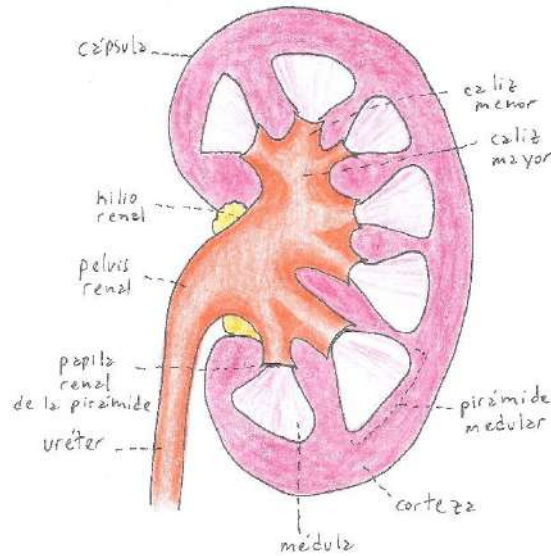
Sistema urinario

## Riñones

Son dos órganos de color rojizo con forma ovalada (forma de semilla de haba, alubia o poroto), miden de 10 a 12 cm de alto, 5 a 8 cm de ancho y 3 cm de espesor. Son retroperitoneales y paravertebrales, es decir, se sitúan a ambos lados de la columna vertebral. Van a descansar a nivel de la pared peritoneal posterior, en la parte de arriba se relaciona con el diafragma y en la parte inferior con el psoas ilíaco y el cuadrado lumbar. Están a distinto nivel, el derecho está un poco más abajo (D12-L3) y el izquierdo un poco más arriba (D11-L2).

Los riñones están rodeados por una cápsula renal lisa y transparente, esta cápsula contiene tejido adiposo que los protege de los traumatismos. En el riñón se describen dos caras, dos bordes y dos extremidades. La cara anterior es lisa y convexa, la cara posterior es casi plana, el borde lateral reúne las dos caras en una curva regular, el borde medial es cóncavo y está interrumpido por el hilio renal ocupado por las vías excretoras, los elementos vasculonerviosos de la raíz renal y tejido adiposo. En la extremidad superior están las glándulas suprarrenales.

El riñón está dividido en una corteza que es la región más superficial y la médula que es la parte interna. En la médula tenemos unas estructuras en forma de pirámides, pirámides renales o de Malpighi. La corteza se introduce entre las pirámides formando las columnas renales, la punta se llama papila renal. La papila sobresale hacia dentro en forma de copa, se denomina cálix. Los cálices constituirán el comienzo del sistema de excreción, ya que aquí es donde se recoge la orina para ser transportada hacia el exterior. La suma de varios cálices menores produce uno mayor. Los cálices mayores van a drenar a la pelvis renal y finalmente la pelvis renal se va estrechando a medida que abandona el hilio para formar el uréter. Las nefronas son las unidades funcionales del riñón.



Corte sagital de riñón

## Relaciones

El riñón derecho en su cara anterior se relaciona con el hígado y el ángulo derecho del colon. El izquierdo en su cara anterior se relaciona con el páncreas, estómago, bazo y ángulo izquierdo del colon. Los dos riñones en la cara posterior y por arriba se relacionan con el diafragma y por abajo con el psoas ilíaco y el cuadrado lumbar. El borde interno está ocupado por la pelvis renal y el hilio renal. Y en el borde externo si es el riñón derecho se relaciona con el hígado y si es el izquierdo con el bazo.

## Uréteres

Es la parte del aparato urinario que lleva la orina desde la pelvis renal a la vejiga, tienen una longitud de 28cm.

En sus paredes, al igual que en la vejiga, podemos diferenciar tres capas:

- Mucosa interna
- Muscular media (formada por músculo liso)
- Fibrosa externa

Terminan en la vejiga, la cual tiene una válvula que impide que la orina vuelva hacia atrás. Los uréteres son retroperitoneales y presentan tres porciones, abdominal, pélvica e intramural. Los dos uréteres son paralelos en el segmento lumbar y luego tienden a converger en la pelvis menor.

## Vejiga

Es un órgano muscular hueco ubicado en la cavidad pélvica por detrás de la sínfisis del pubis. Es un reservorio de orina. En las mujeres se encuentra delante de la vagina y del útero. En los varones está delante del recto, encima de la próstata y anterior y superiormente a las vesículas seminales. La vejiga va a estar sujeta a la pelvis por unos pliegues de peritoneo. El peritoneo recubre la vejiga en su parte posterior pero no en la anterior. Es una víscera hueca y está formada por tres capas, al igual que los uréteres. La porción inferior de la vejiga presenta tres orificios, los dos ureterales y el de la uretra, estos tres orificios delimitan el triángulo vesical.

Su forma, tamaño y posición varían dependiendo de tres factores:

- Cantidad de orina: una vejiga vacía va a estar detrás de la pelvis, pero una llena se puede palpar en el abdomen. Cuando está vacía parece un globo desinflado, y a medida que aumenta

el volumen de orina adquiere forma de pera y asciende por la cavidad abdominal. En el adulto puede llegar a contener 250 a 300 ml de orina.

- Edad de la persona.
- Sexo: la vejiga es más pequeña en las mujeres porque el útero ocupa el espacio justo superior a la vejiga.

## Uretra

Es el conducto evacuador de la vejiga urinaria, va desde el trígono vesical hasta el exterior del organismo. Es muy diferente en el hombre y la mujer.

### - Uretra femenina

Es muy corta (4-5cm), está detrás de la sínfisis del pubis y delante de la pared anterior de la vagina. La dirección es recta hacia abajo y adelante y la parte final es el orificio uretral externo (meato urinario). Se abre en la vulva y este orificio está en medio del clítoris y de la desembocadura de la vagina. Es exclusivamente urinaria.

### - Uretra masculina

La uretra masculina tiene doble funcionalidad ya que no solamente es conducto evacuador de la vejiga, sino que también es conducto excretor del aparato genital masculino. Es más larga (15-20cm). En ella distinguimos tres porciones:

**Prostática:** es la parte más ancha y dilatada. Discurre hacia abajo dentro de la próstata. En esta porción desembocan los conductos eyaculadores. Dentro de esta zona dilatada, hay una porción que siempre está dilatada que se llama seno prostático. Este en la cara posterior tiene una elevación que se llama colículo seminal o veru montanum; y aquí es donde desembocan los conductos eyaculadores.

**Membranosa:** es la porción más corta (1-2 cm.), más delgada y más estrecha. Se extiende desde el vértice de la próstata hasta la raíz del pene en la entrada de las formaciones eréctiles.

**Esponjosa:** es la porción más larga, se origina en la raíz o base del pene, discurre por el centro del mismo (cuerpo esponjoso) para terminar en el orificio externo de la uretra o meato urinario, situado en el glande del pene. En esta porción desembocan los conductos de las glándulas bulbo uretrales y de las glándulas uretrales mucosas. En el glande hay una dilatación que es la fosa navicular.

Alrededor de la desembocadura de la uretra existe un esfínter uretral interno compuesto por músculo liso, la apertura y el cierre del esfínter uretral interno son involuntarios.

Por debajo del mismo se encuentra el esfínter uretral externo compuesto por músculo esquelético y sujeto al control voluntario.

## Sistema genital

Los sistemas genitales aseguran la reproducción sexual del ser humano. Esto se logra a través de la fecundación, que es la unión de los gametos masculino (espermatozoide) y femenino (ovocito secundario). El hombre y la mujer tienen órganos reproductores anatómicamente diferentes que están adaptados para producir la fecundación y mantener el crecimiento del embrión y el feto. Las gónadas (testículo y ovario) producen los gametos correspondientes; los otros órganos genitales se encargan de su transporte y protección. Las estructuras de sostén del sistema genital permiten el encuentro de los gametos, y en la mujer, el crecimiento del embrión y el feto durante el embarazo. Los órganos del sistema genital o reproductor pueden clasificarse en internos y externos.

## Sistema genital masculino

El sistema genital masculino está integrado por los órganos genitales masculinos internos y externos. Los órganos genitales internos son: el testículo, el epidídimo, anexo a cada testículo y se continúa con la vía espermática: el conducto deferente, el conducto eyaculador y la uretra. Las glándulas anexas a esta vía son la glándula vesiculosa [vesícula seminal] y la glándula bulbouretral. El otro órgano anexo, con función secretora, es la próstata. Los órganos genitales externos son: el pene, el escroto y las envolturas testiculares.

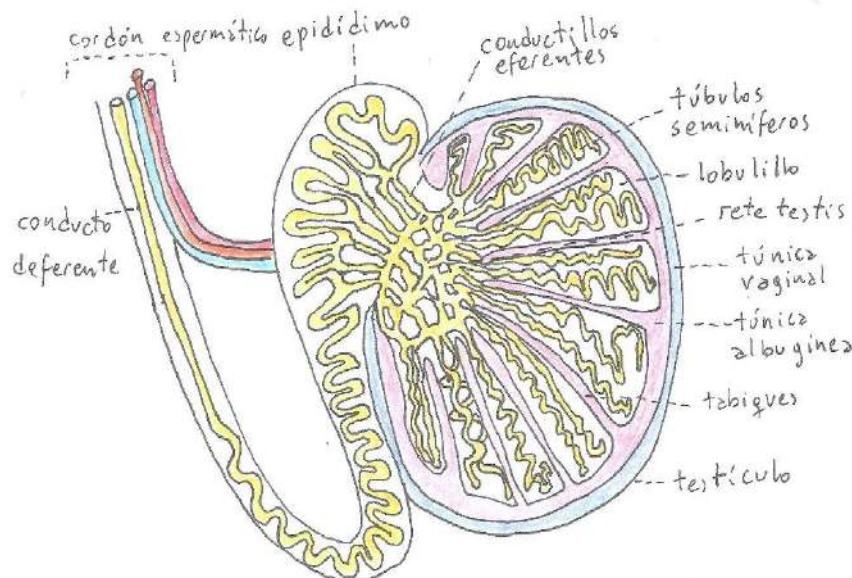
El sistema genital masculino es bilateral y par, hasta llegar a la próstata, la uretra y el pene, que son únicos. En esta porción se constituye la vía común de los sistemas urinario y genital masculino.

El conducto deferente forma parte del contenido del cordón espermático y atraviesa la pared del abdomen. Los conductos eyaculadores de ambos lados atraviesan la próstata, desembocando en la uretra prostática.

## Testículos

Son glándulas ovoideas de color blanco azulado y lisos de aproximadamente 5 cm de largo. Tienen dos bordes, uno anterior y otro posterior, dos caras, una lateral y otra medial y dos extremidades o polos, superior e inferior. Están ubicados en el interior de las bolsas escrotales. Se originan en la pared abdominal posterior del embrión y suelen comenzar su descenso hacia el escroto durante el séptimo mes de desarrollo fetal, atravesando el conducto inguinal. Ambos testículos están suspendidos en el interior del saco escrotal por su fijación al tejido escrotal y por los cordones espermáticos. Están cubiertos por una cápsula fibrosa blanca y densa (túnica albugínea) que se invagina y divide el testículo en compartimentos internos denominados lóbulos. Cada testículo tiene entre 200-300 lóbulos y cada uno contiene de 1 a 3 túbulos seminíferos enrollados en forma apretada, dentro de los túbulos seminíferos se producen espermatozoides por un proceso que se llama espermatogénesis.

En los testículos también se secretan hormonas por medio de las células intersticiales o de Leydig, ubicadas entre los túbulos seminíferos.



*Testículo, epidídimo y conducto deferente*

## Epidídimo

Está aplicado sobre el borde posteromedial del testículo. Se describen una cabeza redondeada y supero medial, un cuerpo alargado y una cola inferior y lateral, bastante libre en la extremidad



inferior del testículo. Es un tubo único, en forma de coma, es en donde maduran los espermatozoides, durante 10 a 14 días.

## Conducto deferente

Es un conducto muy largo, de 40cm de forma cilíndrica y consistencia firme. Va desde la cola del epidídimo hasta su unión con el conducto excretor de la vesícula seminal que forman el conducto eyaculador. Tiene paredes gruesas con mucho tejido muscular liso y tiene distintas porciones:

- Porción escrotal: unida al epidídimo, contenida en el escroto por fuera de la túnica vaginal del testículo.
- Porción funicular: por arriba del nivel del epidídimo pasa a formar parte del cordón espermático (estructura formada por el conducto deferente, arteria testicular, arteria del conducto deferente, arteria cremastérica, acompañadas por sus venas homónimas y el plexo pampiniforme, los nervios ilioinguinal y genitofemoral y vasos linfáticos).
- Porción inguinal: en el conducto inguinal.
- Porción pélvica: en la fosa ilíaca y en la pelvis menor. Se une en la próstata al conducto excretor de la vesícula seminal formando el conducto eyaculador.

Este conducto asciende desde el escroto y pasan a través del canal inguinal hacia la cavidad abdominal como parte del cordón espermático. Luego ingresa en la cavidad pelviana donde gira sobre la cara lateral y desciende sobre la superficie posterior de la vejiga, donde posee una dilatación denominada ampolla la cual se une al conducto de la vesícula seminal. Cuando atraviesa la próstata crea el conducto eyaculador. Los dos conductos eyaculadores son dos tubos cortos que atraviesan la próstata para terminar en la uretra.

## Vesículas seminales

Son como bolsas tubulares, de aproximadamente 5 cm de longitud, ubicadas en la parte posterior e inferior de la vejiga, superior a la próstata y delante del recto, su conducto excretor se une en la próstata con el conducto deferente formando el conducto eyaculador. Su función es la de secretar un componente líquido viscoso y alcalino, rico en fructosa, que se mezcla con el esperma y constituye la fuente principal de energía para la movilización de los espermatozoides y que constituye alrededor del 60 % del semen.

## Próstata

La próstata es una glándula tubuloalveolar impar, que está ubicada por debajo de la vejiga urinaria y que rodea la uretra prostática. La próstata presenta una base superior, que es la porción que se une a la vejiga urinaria y un vértice inferior. Tiene un tamaño y forma aproximado de una castaña y pesa alrededor de 18g, se encuentra debajo de la vejiga, detrás de la sínfisis del pubis, delante del recto y rodea la parte superior de la uretra. Su función es la secreción de una sustancia alcalina que constituye entre el 20-25% del líquido seminal, y que protege a los espermatozoides frente a la acidez de la uretra y de la vagina femenina.

## Glándulas bulbo uretrales

Tienen el tamaño y forma aproximado de un carozo de cereza y se encuentran debajo de la próstata a cada lado de la uretra y secretan un líquido alcalino para contrarrestar la acidez antes mencionada y para lubricar la uretra.

## Escroto

Es un saco cutáneo suspendido en la región perineal que contiene los testículos y los epidídimos. Está formado por dos capas: la piel y la túnica dartos. La piel del escroto es fina y extensible. Está marcada por pliegues transversales interrumpidos en la línea media por un surco longitudinal, el rafe

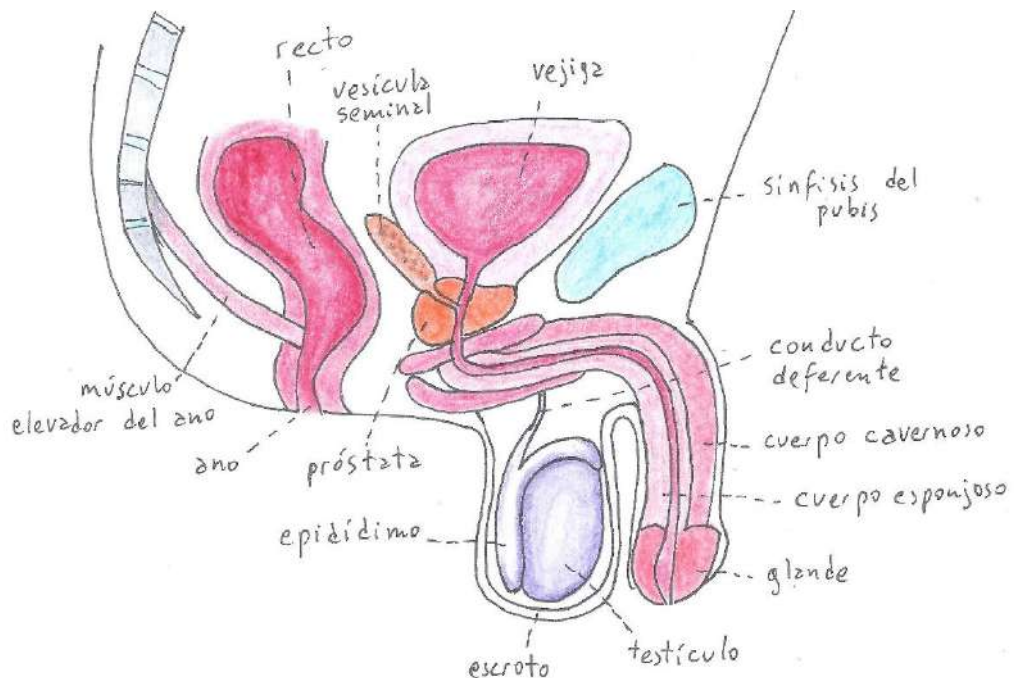
escrotal, que divide el escroto dos. En el adulto la piel presenta pelos con glándulas sebáceas y sudoríparas. La túnica dartos es la dermis del escroto y contiene células musculares lisas.

## Pene

El pene es el órgano copulador, contiene la uretra y es un conducto a través del cual se eyacula el semen y se excreta la orina.

Es un órgano cilíndrico formado por una raíz, un cuerpo y el glande. La raíz del pene es la porción que lo conecta con el cuerpo. El cuerpo está compuesto por tres masas cilíndricas de tejido eréctil envueltas por coberturas fibrosas separadas y mantenidas juntas por la piel que las envuelve. Los dos cilindros mayores dorso-laterales se denominan cuerpos cavernosos, y el más pequeño medio, que es el que contiene la uretra se denomina cuerpo esponjoso.

La parte distal del cuerpo esponjoso se superpone al extremo terminal de los cuerpos cavernosos para formar una estructura ligeramente prominente, el glande, sobre el que la piel forma un doble pliegue denominado prepucio. En el glande se encuentran la desembocadura de la uretra que conduce al exterior.



*Corte sagital sistema genital masculino*

## Composición del líquido seminal:

- Testículos y epidídimo: <5%
- Vesículas seminales: ±60%
- Próstata: 30%
- Glándulas bulbo uretrales: <5%

## Sistema genital femenino

El sistema genital femenino está integrado por los órganos internos y externos. Éstos comprenden:

- órganos internos: los ovarios, las trompas uterinas, el útero y la vagina.
- órganos externos: comprende la vulva.

## Ovario

El ovario es una glándula exocrina, porque produce los ovocitos y endócrina porque produce hormonas como los estrógenos y la progesterona. Existen dos, uno derecho y otro izquierdo, situados en la pelvis menor, a cada lado del útero, debajo y por detrás de las trompas uterinas. Se mantienen en posición mediante cuatro ligamentos, uno lo fija a la pared lumbopelviana y los otros tres a estructuras adyacentes. Tienen forma ovoide algo aplastada, miden aproximadamente 3 cm de longitud y se describen dos caras, una lateral y otra medial, dos bordes, uno libre posterior y uno anterior e hiliar y dos extremidades, la inferior uterina y la superior tubárica.

En su configuración interna se pueden describir una corteza donde se encuentran los folículos en distintos estadios de maduración que van a dar origen a los ovocitos y producen las hormonas femeninas, estrógenos y progesterona, y una médula interna con abundantes vasos sanguíneos, linfáticos y nervios.

## Trompa uterina

Es un conducto bilateral extendido desde la extremidad tubárica del ovario (lateralmente) hasta el cuerno del útero (medialmente). Este conducto conduce el ovocito hacia la cavidad uterina y también allí se produce la fecundación. Miden unos 10 cm de longitud, tienen forma de tuba o trompeta.

Cada trompa está formada por cuatro divisiones:

- Infundíbulo: tiene forma de embudo orientado hacia abajo, atrás y medial, es muy móvil, contiene fimbrias con aspecto de digitaciones orientadas hacia la cara medial del ovario.
- Ampolla: es la porción dilatada intermedia que sigue un camino en curva por encima del ovario, es la porción más larga y allí es donde se produce la fecundación
- Istmo: corresponde a su tercio medial, es rectilíneo y poco móvil, su calibre es estrecho.
- Porción intrauterina o intramural: está alojada en el espesor de la pared uterina.

El peritoneo cubre al útero y las trompas y se extiende cubriendo la pared posterior de la vejiga en el espacio útero vesical. La porción del peritoneo que se extiende cubriendo el útero y las trompas se denomina ligamento ancho. Las trompas uterinas se consideran extensiones del útero que se comunican, sin ponerse en contacto directo, con los ovarios. Esta disposición permite que el óvulo sea recogido por las fimbrias y transportado a lo largo de la trompa hasta el útero.

## Útero

Es un órgano muscular, hueco, destinado a recibir el óvulo fecundado y albergar el embrión y el feto durante la gestación. Y donde se desencadena el trabajo de parto.

Tiene forma de cono aplanado de adelante hacia atrás, cuya base está orientada hacia arriba y cuyo vértice truncado encaja en la parte superior de la vagina.

Presenta tres partes:

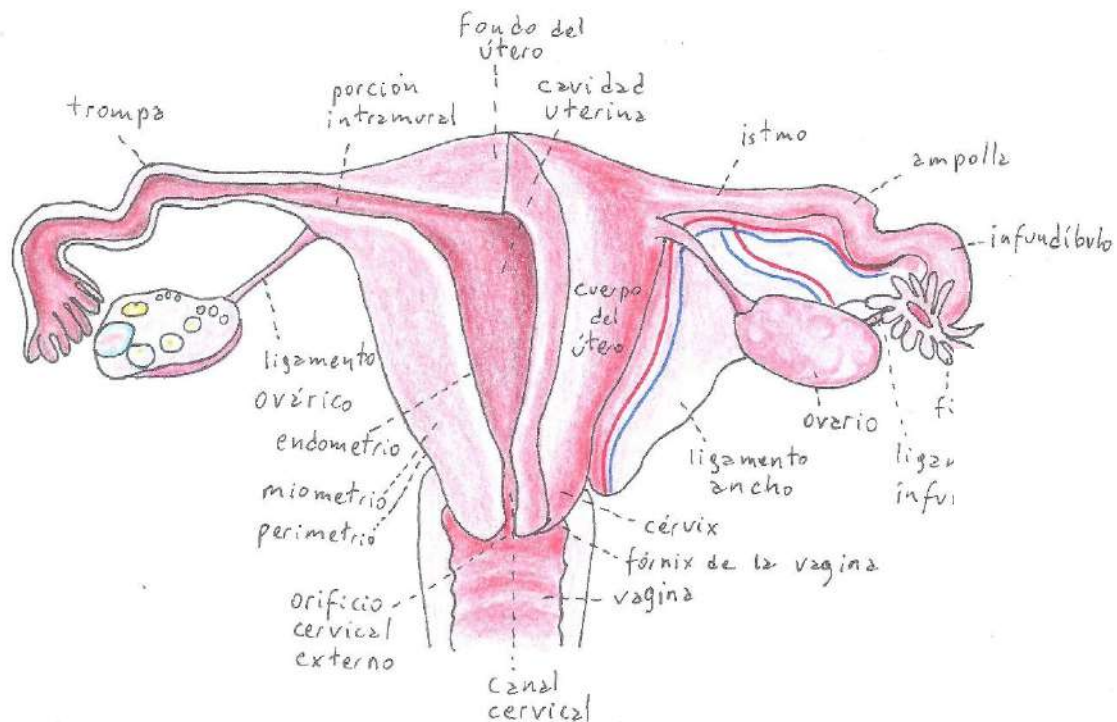
- Una porción superior más ancha, el cuerpo o fondo que tiene forma de cúpula. El interior del cuerpo se denomina cavidad uterina.
- Una porción inferior, más estrecha, el cuello o cérvix.
- Una porción intermedia, ubicada entre los dos precedentes, algo estrecha denominada istmo.

Se encuentra situado en la cavidad pélvica, entre la vejiga urinaria por delante y el recto por detrás. El peritoneo se introduce en el espacio útero-rectal formando el fondo de saco rectouterino o de Douglas. Alteran esta posición: la edad, el embarazo y la distensión de las vísceras vecinas, por ejemplo, la vejiga. El útero se mantiene en posición gracias al anclaje sobre la cavidad pélvica que realizan ocho ligamentos. Los tres más importantes son: ligamento ancho, redondo y rectouterino.

La pared del útero tiene tres capas:

- Interna o endometrio. Es una mucosa que nutre al feto en crecimiento o se descama todos los meses durante la menstruación si no se produjo la fecundación. Contiene muchas glándulas endometriales cuyas secreciones nutren a los espermatozoides y al cigoto.
- Intermedia o miometrio, compuesta de tres capas de fibras musculares lisas, que le confieren gran fuerza y distensibilidad al útero.
- Externa de membrana serosa, el peritoneo parietal, que no lo recubre en su totalidad, sólo una parte del cuerpo.

Debido al espesor de sus paredes, las cavidades uterinas son pequeñas. La cavidad del cuerpo es plana y triangular, dirigiéndose su punta hacia abajo constituyendo el orificio cervical interno, que se abre en el conducto o canal cervical. Este conducto también se estrecha en su extremo inferior formando el orificio cervical externo, que se abre en la vagina.



Sistema genital femenino

## Vagina

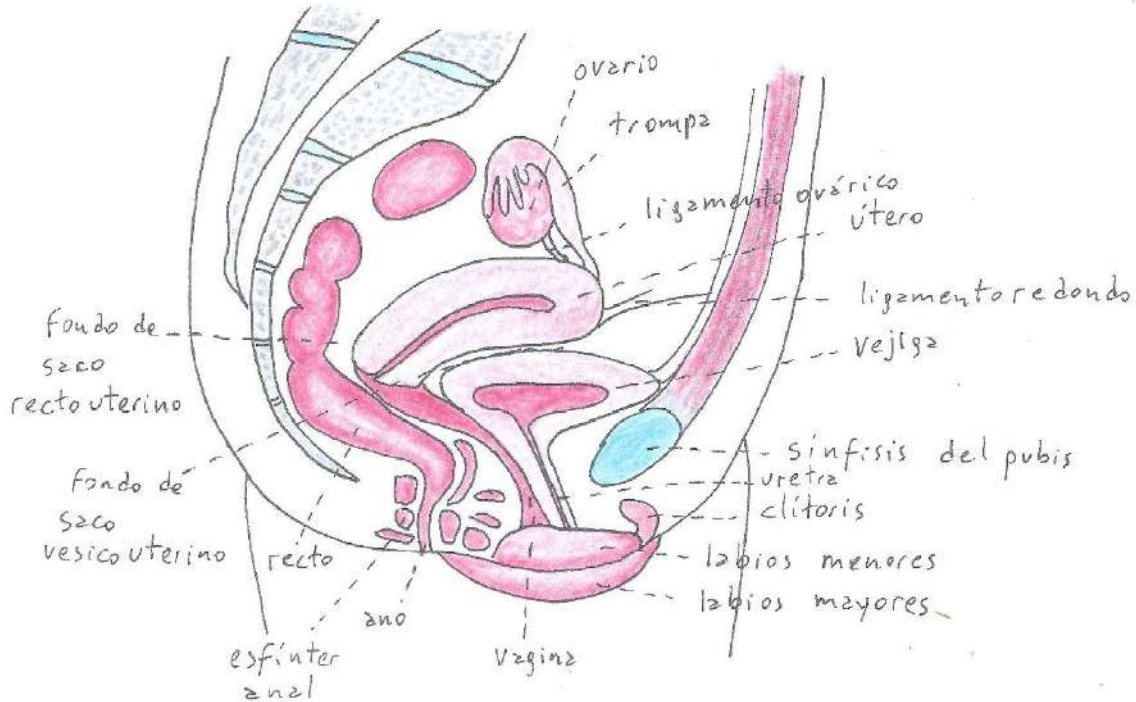
Es un conducto tubular situado entre el recto por detrás y la vejiga y la uretra por delante. Se extiende desde el cérvix hasta su orificio externo situado en el vestíbulo de la vagina entre los labios menores. La vagina es un tubo de 7-8 cm. de longitud que posee gran capacidad de distensión. Está compuesta sobre todo de músculo liso y tapizado por una membrana mucosa. Su parte anterior es más corta que la posterior debido a que el cérvix uterino se proyecta hacia la porción superior del tubo. Una membrana mucosa, el himen, forma un pliegue alrededor del orificio externo de la vagina, cerrando parcialmente el orificio.

## Vulva

Está constituida por las siguientes estructuras:

- Monte de venus: es una elevación de tejido adiposo cubierto por piel y vello grueso que se sitúa por encima de la sínfisis del pubis.
- Labios mayores: son dos pliegues de piel longitudinales que salen desde el monte de Venus y se extienden hacia abajo y atrás.
- Labios menores: son dos pliegues de piel que están por dentro de los labios mayores, se unen en la línea media delimitando un espacio denominado vestíbulo.

- Clítoris: es un pequeño órgano compuesto de tejido eréctil que se localiza en la unión anterior de los labios menores.
- Meato u orificio urinario: es la pequeña abertura exterior de la uretra y se sitúa entre el clítoris y el orificio vaginal.
- Orificio vaginal: es una abertura mayor situada posteriormente al meato urinario.
- Glándulas vestibulares mayores o glándulas de Bartolino: son dos glándulas con forma de haba situadas a cada lado del orificio vaginal y secretan un líquido lubricante.
- Glándulas vestibulares menores: se abren en el vestíbulo cerca del meato urinario.



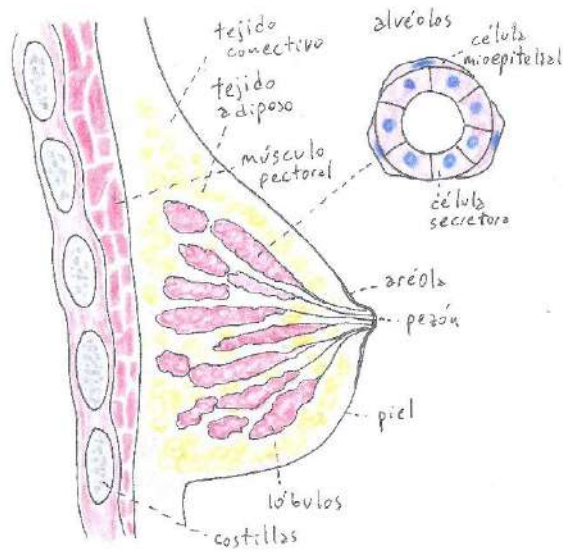
*Corte sagital Sistema genital femenino*

## Glándulas mamarias

Las mamas son dos formaciones situadas simétricamente en relación con la línea mediana, en la cara anterior y superior del tórax. Representan una característica sexual secundaria del sexo femenino y sirven para proporcionar nutrición al recién nacido.

Las glándulas mamarias existen también en el hombre, en el cual tienen el mismo origen embriológico que en la mujer. Igualmente se transforman en la pubertad, pero esta transformación se detiene y la glándula queda en estado rudimentario.

Las mamas toman su aspecto normal en la pubertad. La forma media es la de una semiesfera terminada en vértice por una saliente, el pezón. En posición de pie, la mama es más saliente hacia la base que hacia la parte superior, y su límite inferior forma con la pared torácica subyacente un surco: el surco submamario. Situadas en la parte anterior de cada hemitórax entre el borde lateral del esternón y la línea axilar anterior en la mujer joven, las mamas se extienden término medio de la 3ª a la 7ª costilla.



*Corte sagital de la glándula mamaria*

## Perineo o perine

Es el conjunto de partes blandas que cierran por debajo la cavidad pelviana y que se encuentra por debajo del diafragma pélvico. Está atravesado por el recto, la uretra y los órganos genitales. Tiene forma romboidal y son diferentes en el hombre y la mujer.



## ANEXO: Algunos conceptos de matemática

### Razones y Proporciones

#### Razón

Una razón es una comparación entre dos o más cantidades. Puede expresarse mediante una fracción. Si las cantidades a comparar son a y b, la razón entre ellas se escribe como:

$$a : b, a / b \text{ ó } \frac{a}{b} \text{ y se lee "a es a b"}$$

#### Ejemplo:

En una sala de clases hay 10 mujeres y 18 hombres. ¿Qué relación numérica existe entre el número de mujeres y el número de hombres?

La relación entre el número de mujeres y el número de hombres es de "10 es a 18", otra forma de leerlo es "10 de 18"

El término a es el **antecedente** de la razón y el b, el **consecuente**.

$$\frac{a}{b} \begin{array}{l} \rightarrow \text{antecedente} \\ \rightarrow \text{consecuente} \end{array}$$

El resultado de la división o cociente entre el antecedente y el consecuente se denomina **valor de la razón**

$$\frac{a}{b} = \text{valor de la razón}$$

Dos o más razones son **equivalentes** cuando tienen igual valor.

#### Resolución de problemas:

Veamos cómo resolver problemas de razones:

#### Ejemplo 1:

Las edades de 2 personas están en la relación de 5 a 9 y la suma de ellas es 84. Hallar las edades.

#### Solución:

Si las edades son **a** y **b**

Cuando nos hablan de relación o razón entre dos cantidades sabemos que nos están hablando de una comparación entre dos cantidades. Por lo tanto, expresamos los datos como una razón:

$$\frac{a}{b} = \frac{5}{9}$$

Ahora volvemos a los datos del problema:

Nos indican que la suma de los 2 números nos tiene que dar 84. Esto se expresa así:

$$a + b = 84$$

Ahora lo que debemos hacer es trabajar con una constante, que en este caso será " X". Por lo tanto:

$$\frac{a \rightarrow 5x}{b \rightarrow 9x}$$

Reemplazando los datos en la ecuación tenemos:

$$\begin{aligned} a + b &= 84 \\ 5x + 9x &= 84 \\ 14x &= 84 \\ x &= \frac{84}{14} \\ x &= 6 \end{aligned}$$

Ahora que tenemos el valor de x podemos reemplazar para obtener los valores de a y b:

$$\frac{a \rightarrow 5 \cdot 6 = 30}{b \rightarrow 9 \cdot 6 = 54}$$

**Respuesta:** Por lo tanto, podemos decir que las edades son 30 y 54.

### Ejemplo 2:

El perímetro de un rectángulo mide 128 cm, y la razón entre las medidas de sus lados es 5: 3. Calcula el área del rectángulo.

#### Solución:

Siguiendo el procedimiento del problema anterior planteamos el problema en una ecuación. Sabemos que el perímetro de un rectángulo es igual a la suma de todos sus lados:



$$2a + 2b = 128$$

Si expresamos las variables dadas en el problema:

$$\frac{a \rightarrow 5x}{b \rightarrow 3x}$$

Ahora reemplazamos y resolvemos:

$$\begin{aligned}
 2a + 2b &= 128 \\
 2(5x) + 2(3x) &= 128 \\
 10x + 6x &= 128 \\
 16x &= 128 \\
 x &= \frac{128}{16} \\
 x &= 8 \checkmark
 \end{aligned}$$

Con este resultado reemplazamos:

$$\begin{aligned}
 a &\rightarrow 5 \cdot 8 = 40 \\
 b &\rightarrow 3 \cdot 8 = 24
 \end{aligned}$$

Ahora no nos debemos olvidar que nos están pidiendo el área del rectángulo. Sabemos que el área del rectángulo se calcula:

$$A = a \cdot b$$

Por lo tanto, la respuesta sería:

$$A = 40 \cdot 24 = 960$$

**Respuesta:** El área del rectángulo es 960 cm<sup>2</sup>

**Otra forma de resolver razones es siguiendo los siguientes pasos:**

### Ejemplo 3:

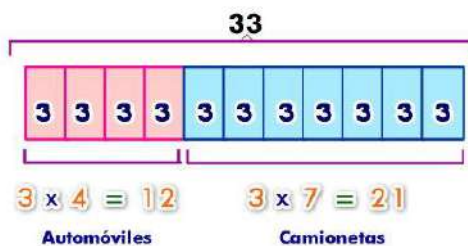
Si hay 33 vehículos entre automóviles y camionetas y la razón entre ellos es 4:7 ¿cuántos automóviles hay?

En este caso se está comparando la cantidad de automóviles con el de camionetas. Para conocer la cantidad de automóviles que hay podemos seguir los siguientes pasos:

1° se considera el total de vehículos: 33

2° Se divide 33 por la suma entre el numerador y el denominador de nuestra razón (4+7= 11). Con esto se obtienen 11 partes con 3 unidades cada una (ya que 33:11 = 3).

3° Se consideran 4 partes para los automóviles y 7 para las camionetas.



**Respuesta:** Hay 12 automóviles

## Proporciones

Una proporción es la igualdad de dos razones.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \quad \text{ó} \quad a : b = c : d$$

Términos medios  
Términos extremos

Se lee: "a es a b como c es a d"

### Propiedad fundamental

En toda proporción, el producto de los términos medios es igual al producto de los términos extremos (Teorema fundamental de las proporciones). Es decir:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \quad \text{entonces} \quad a \cdot d = b \cdot c$$

### Ejemplo:

Si tenemos la proporción:

$$\frac{3}{4} = \frac{15}{20}$$

Y le aplicamos la propiedad fundamental señalada queda:

$$3 \cdot 20 = 4 \cdot 15, \text{ es decir, } 60 = 60$$

Esta es la propiedad que nos permite detectar si dos cantidades presentadas como proporción lo son verdaderamente.

### Proporcionalidad directa

Dos variables (una independiente  $x$  y la otra dependiente  $y$ ) son directamente proporcionales si el cociente (división) entre los valores respectivos de cada una de las variables es constante.

$$y / x = k$$

Además, al aumentar o disminuir una de ellas, la otra aumenta o disminuye, respectivamente, en la misma razón.

Ejemplo:

#### - Indica si las variables son directamente proporcionales

a. La medida del lado de un cuadrado y su perímetro:  
Respuesta **Sí**, porque a mayor longitud de sus lados mayor perímetro. (si una variable aumenta la otra aumenta en la misma razón).

b. El número de trabajadores y los días que se demoran en hacer un trabajo, si todos trabajan de igual manera: Respuesta: **No**, porque a mayor cantidad de trabajadores menos cantidad de días. (si una variable aumenta, la otra disminuye en la misma razón).

En el caso de las funciones esta proporcionalidad directa se puede representar como una función de la forma

$$y = k x$$

**Dónde:**

y : variable dependiente.

x: variable independiente.

k : constante de proporcionalidad.

**Por ejemplo:** si tenemos la siguiente función:

$$y = 3x$$

La constante de proporcionalidad sería 3.

**¿Cómo se calcula la constante de proporcionalidad?**Como  $y = k \cdot x$  entonces:  $k = y / x$ 

Calcula la constante de proporcionalidad:

<b>x</b>	3	6	7
<b>y</b>	6	12	14

$$k = 6 / 3$$

$$k = 2$$

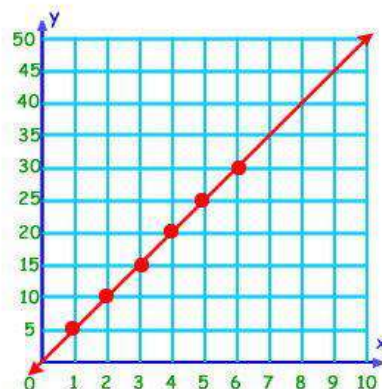
El cociente de las dos magnitudes es siempre el mismo (**constante**)**Gráfico de proporcionalidad directa**El gráfico correspondiente a una relación de proporcionalidad directa **es una línea recta** que pasa por el punto de origen de un sistema de coordenadas cartesianas.**En una función de proporcionalidad directa**, si una de las variables aumenta, la otra también aumenta en un mismo factor; y si una de las variables disminuye, la otra disminuye en un mismo factor.

Ejemplo:

Juan ha utilizado 20 huevos para hacer 4 tortillas iguales. ¿Cuántos huevos necesita para hacer 6 tortillas? ¿Y para hacer 2?

Gráfica los resultados hasta 6 tortillas.

x	1	2	3	4	5	6
y	5	10	15	20	25	30



Como se puede ver, el gráfico es una línea recta que pasa por el origen. Además, si nos fijamos en la tabla, nos podemos dar cuenta que el cociente (división) entre las dos magnitudes ( $y / x$ ) es constante. En este caso el valor de la constante de proporcionalidad es **5**.

### Proporcionalidad inversa

Dos variables (una independiente  $x$  y la otra dependiente  $y$ ) son **inversamente proporcionales** si el producto entre los valores respectivos de cada una de las variables es constante.

$$(x \cdot y = k)$$

Además, en una función de proporcionalidad inversa, si una de las variables aumenta, la otra disminuye en un mismo factor; y si una de las variables disminuye, la otra aumenta en un mismo factor.

Esta relación de proporcionalidad inversa se puede representar como una función de la forma:

$$y = k / x$$

Dónde:

$y$  : variable dependiente.

$x$ : variable independiente.

$k$  : constante de proporcionalidad.

Ejemplos:

#### **Indica si las variables son inversamente proporcionales.**

**a)** El número de albañiles y el tiempo empleado en hacer el mismo edificio.

Respuesta: **Son inversamente proporcionales**, ya que, con el doble, triple... número de albañiles se tardará la mitad, tercera parte de tiempo en construir el mismo edificio.

**b)** La velocidad de un auto y el trayecto recorrido en el mismo tiempo.

Respuesta: **No** es inversa ya que, a tiempo constante, con el doble o el triple... de la velocidad, el auto recorrerá el doble, triple... de espacio.

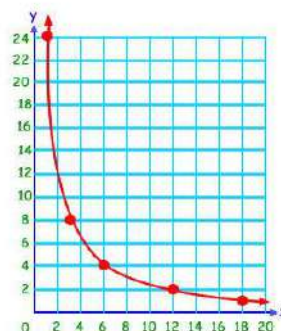
**c)** La velocidad de un auto y el tiempo empleado en recorrer el mismo trayecto.

Respuesta: **Son inversamente proporcionales**, ya que, a espacio constante, con el doble, triple... velocidad, el auto tardará la mitad, tercera parte... de tiempo en recorrerlo.

### Gráfico de proporcionalidad inversa

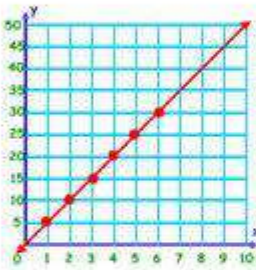
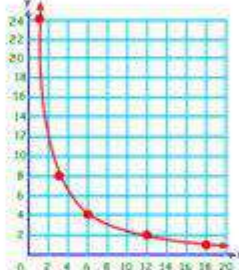
La representación gráfica de esta función son puntos que pertenecen a una curva, llamada **hipérbola**.

$x$	3	6	12	1
$y$	8	4	2	24



**Resumen:** Observa el siguiente cuadro comparativo:



Función de Proporcionalidad Directa	Función de Proporcionalidad Inversa
<p>Al aumentar o disminuir una de las variables, la otra aumenta o disminuye, respectivamente, en la misma razón.  <b>"A más... más y a menos... menos"</b></p>	<p>En una función de proporcionalidad inversa, si una de las variables aumenta, la otra disminuye en un mismo factor; y si una de las variables disminuye, la otra aumenta en un mismo factor.  <b>"A más... menos y a menos... más"</b></p>
<p>La gráfica es una <b>línea recta</b> que pasa por el origen de coordenadas:</p> 	<p>La gráfica es una curva llamada <b>hipérbola</b>:</p> 
<p>Función de la forma:</p> $y = k \cdot x$	<p>Función de la forma:</p> $y = \frac{k}{x}$
<p>Constante de proporcionalidad:</p> $k = \frac{y}{x}$	<p>Constante de proporcionalidad:</p> $K = x \cdot y$

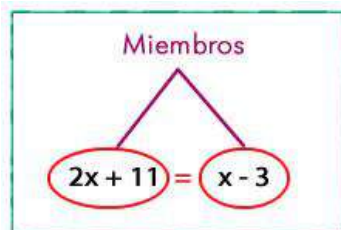
## Ecuaciones

**Una ecuación** es una igualdad entre expresiones algebraicas que se cumple solamente para algunos valores de las letras.

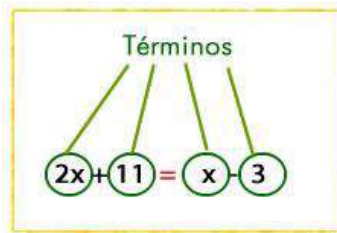
**Resolver una ecuación** es encontrar el valor de la incógnita. Para esto debes aplicar algunas de las propiedades de las operaciones.

**¿Qué elementos tiene una ecuación y cómo se llaman?**

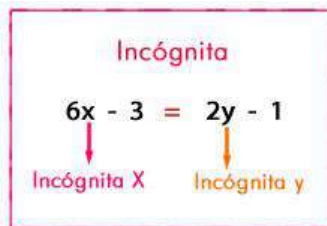
**Miembros:** son las expresiones que aparecen a cada lado del signo igual (=)



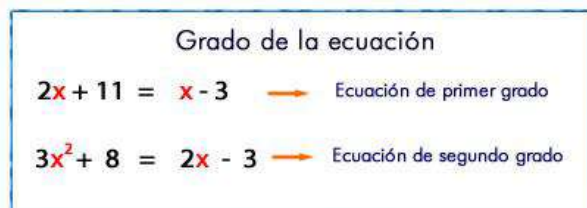
**Términos:** son los monomios de cada miembro.



**Incógnitas:** Son las letras que aparecen en la ecuación.



**Grado de la ecuación:** es el mayor exponente con que figura la incógnita (una vez realizadas todas las operaciones).



**Soluciones:** son los valores que deben tener las incógnitas para que la igualdad entre los miembros sea cierta.

$$2x + 11 = x - 3$$

Solución :  $x = -14$

Si reemplazamos el valor obtenido de "x" en la ecuación, tenemos:

$$2(-14) + 11 = (-14) - 3$$

$$-28 + 11 = (-14) - 3$$

$-17 = -17$

✓

Luego, podemos ver que la igualdad se cumple.

**¿Qué es una ecuación lineal?**

Una **ecuación lineal** es un planteamiento de igualdad, involucrando una o más variables a la primera potencia, que no contiene productos entre las variables, es decir, una ecuación que involucra solamente **sumas y restas** de una variable a la primera potencia.

### Lenguaje algebraico

El lenguaje algebraico nos permite representar una información dada mediante operaciones con números y letras.

Las letras que se utilizan en el lenguaje algebraico pueden cumplir 2 funciones:

- Ir tomando valores que varían, por lo que también se les llama variables.
- Utilizarlas en el lugar de una cantidad desconocida, en ese caso se les llama incógnitas.

Así, se puede representar la **suma de dos números** como  **$x+y$**  y el **triple de la suma de dos números** como  **$3(x+y)$** . De esta forma se realiza una traducción de enunciados a lenguaje algebraico.

Así mismo mediante la traducción de enunciados se pueden expresar números desconocidos en términos de otros.

Por ejemplo, si la edad de Juan es  **$x$**  y Lola tiene el triple de la edad de Juan más cuatro años, se puede expresar la edad de Lola como  **$3x+4$**  y si Pedro tiene el doble de la edad de Lola, se puede expresar la edad de Pedro como  **$2(3x+4)$** .

### ¿Qué es una ecuación de segundo grado con una incógnita?

Una ecuación de segundo grado o también llamada ecuación cuadrática con una incógnita, es toda ecuación, que presenta una sola letra llamada incógnita, que normalmente se denomina con la letra  **$x$** , en la cual, una vez simplificada, el mayor exponente de la incógnita es dos, o sea, **cuando la incógnita está elevada al cuadrado**.

Entonces, el **grado de la ecuación será determinado por el máximo exponente, una vez simplificada la ecuación**, que en este caso es 2. Si el máximo exponente estuviera elevado a 3 se llamaría ecuación de tercer grado (ej.:  $2x^3 - 10x^2 + 22x - 14 = 0$ ), y si estuviera elevado a 4, la ecuación sería de cuarto grado (ej.:  $x^4 - 7x^3 + 13x^2 + 23x - 78 = 0$ ), y así sucesivamente.

Así, una ecuación de segundo grado o cuadrática con una incógnita será de la forma;

$$a x^2 + b x + c = 0$$

**Con  $a$ ,  $b$  y  $c$  números reales y  $a$  siempre distinto de 0.**

En esta forma podemos ver qué;  **$a$**  es el primer término en  **$x^2$** ,  **$b$**  es el segundo término en  **$x$**  y  **$c$**  el tercer término independiente de  $x$ .

### Raíces de una ecuación de segundo grado

Las raíces de una ecuación de segundo grado, son los valores (soluciones) de la incógnita que satisfacen la ecuación.

Toda ecuación de 2º grado tiene **dos raíces** (o soluciones). Resolver una ecuación de 2º grado, es hallar la raíz de la ecuación.

Por ejemplo, Las raíces de la ecuación  **$x^2 - 2x - 3 = 0$**  son  **$x_1 = 3$**  y  **$x_2 = -1$** , ambos valores satisfacen esta ecuación.

### Ecuaciones completas e incompletas de segundo grado

Dependiendo de los valores que adquieran los términos  $b$  y  $c$ , podemos clasificar las ecuaciones de segundo grado en ecuaciones completas e incompletas. No se considera que  $a$  sea igual a 0, ya que, si fuera así la ecuación resultante sería  $bx + c = 0$ , que no es una ecuación de segundo grado.

#### a) Ecuaciones Completas de segundo grado

Se llama ecuaciones completas de segundo grado, cuando todos los términos son distintos de 0, y se expresa de la forma;

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Ejemplos:

$$a) 2x^2 + 7x - 15 = 0$$

$$b) x^2 - 8x = -15$$

que es lo mismo que;

$$x^2 - 8x + 15 = 0$$

#### b) Ecuaciones incompletas de segundo grado

Se llama ecuaciones incompletas de segundo grado, cuando el término  $b$  o  $c$  son iguales a 0. Entonces, existen 2 formas en las que se expresa una ecuación incompleta de segundo grado;

#### Ecuación cuadrática incompleta pura:

Se llama ecuación cuadrática incompleta pura, cuando el término  $b$  es igual a cero, o sea, cuando carece del término en  $x$ , se expresa de la forma;

$$ax^2 + c = 0$$

Ejemplos:

$$a) 5x^2 + 12 = 0$$

$$b) (x+5)(x-5) = -7$$

$$x^2 - 5^2 = -7$$

$$x^2 - 25 + 7 = 0$$

$$x^2 - 18 = 0$$

Hay una excepción a la forma general de las ecuaciones incompletas puras de segundo grado, que es de la forma;

$$ax^2 = 0$$

Donde, sus raíces (o solución doble) es  $x = 0$

### Ecuación cuadrática incompleta mixta:

Se llama ecuación cuadrática incompleta mixta, cuando el término  $c$  es igual a cero, o sea, cuando **carece del término independiente**, se expresa de la forma;

$$a x^2 + b x = 0$$

### Ejemplos:

a)  $3 x^2 + 5 x = 0$

b)  $3 x - 1 = \frac{5 x + 2}{x - 2}$

Si desarrollamos este ejercicio tenemos que ;

$$(3 x - 1) (x - 2) = 5 x + 2$$

$$3 x^2 - 7 x + 2 = 5 x + 2$$

$$3 x^2 - 7 x + 2 - 5 x - 2 = 0$$

$$3 x^2 - 12 x = 0$$

### Fórmula general para resolver ecuaciones de segundo grado

La fórmula general, es la que sirve para resolver todas las ecuaciones de segundo grado o cuadráticas, del tipo  $a x^2 + b x + c = 0$ , con "a" distinto de 0, incluyendo también a las ecuaciones incompletas, considerando **b** o **c** igual a 0.

Existen varios métodos para demostrar cómo se llega a esta fórmula general, aquí mostraremos el que creemos será fácil de comprender.

- Para poder despejar  $x$  y llegar a las raíces (o soluciones), lo primero que haremos es despejar el primer término  $x^2$ , o sea, igualaremos a 1 el término **a**. Para esto, dividimos por **a** la ecuación  $a x^2 + b x + c = 0$ , lo que nos servirá para poder formar un trinomio cuadrado perfecto y luego, un cuadrado de binomio (producto notable).

$$a x^2 + b x + c = 0 \quad /:a$$

$$x^2 + \frac{b}{a} x + \frac{c}{a} = 0$$

- Ahora, transponemos el elemento  $c/a$  el cual quedará  $= - c/a$ . El cuadrado de binomio que crearemos para resolver la ecuación de segundo grado será  $(x + y)^2$ , que sabemos que es igual al trinomio cuadrado perfecto  $x^2 + 2 x y + y^2$ . Si analizamos esta ecuación podemos ver que, el primer término al cuadrado  $x^2$ , lo tenemos, el doble del primer término por el segundo término  $2 x y$ , es igual a  $b/a x$ , y el segundo término al cuadrado  $y^2$ , no lo tenemos, por lo cual tenemos que agregar a ambos lados, a un lado para formar el trinomio cuadrado perfecto, y al otro lado para mantener la igualdad.

$$x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$$

$$x^2 + \frac{b}{a}x = -\frac{c}{a}$$

$$x^2 + \frac{b}{a}x + y^2 = -\frac{c}{a} + y^2$$

↓  
2xy

- Entonces, factorizamos el trinomio cuadrado perfecto y nos queda el cuadrado de binomio  $(x+y)^2$ .

$$(x+y)^2 = -\frac{c}{a} + y^2$$

- Despejamos la incógnita ( $y$ ), para reemplazarla con los términos originales de la ecuación de segundo grado. Como vimos anteriormente,  $2xy = b/ax$ , si despejamos  $y$  nos quedará  $y = b/2a$ . Fíjate como lo hicimos en la siguiente gráfica;

$$2xy = \frac{b}{a}x$$

$$2xy = \frac{b}{a} \cdot \frac{x}{1}$$

$$2xy = \frac{bx}{a}$$

$$y = \frac{bx}{2xa}$$

$$y = \frac{b}{2a}$$

- Ahora, reemplazamos el valor de  $y$  en la ecuación, resolvemos  $(b/2a)^2$  y sacamos el mínimo común múltiplo que es  $4a^2$  y resolvemos.

$$(x + \frac{b}{2a})^2 = -\frac{c}{a} + (\frac{b}{2a})^2$$

$$(x + \frac{b}{2a})^2 = -\frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \quad / \text{m.c.m } 4a^2$$

$$(x + \frac{b}{2a})^2 = \frac{-4ac + b^2}{4a^2}$$

- Una vez resuelto, para despejar  $x$ , nos faltaría eliminar el cuadrado, para lo cual extraemos la raíz, luego transponemos el término  $b/2a$ , y sacamos m.cm. y resolvemos.



$$\sqrt{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2} = \sqrt{\frac{-4ac + b^2}{4a^2}}$$

$$x + \frac{b}{2a} = \frac{\pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Sacamos m.c.m 2a

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Así despejamos  $x$ , y obtuvimos la fórmula general que nos dará las dos raíces de la ecuación  $ax^2 + bx + c = 0$ , con  $a$  distinto de 0. Las dos raíces (o soluciones) están determinadas por el signo  $+$  o  $-$  de la raíz cuadrada de  $b^2 - 4ac$ .

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Aplicando esta fórmula podrás resolver cualquier ecuación de segundo grado.

### Discriminante de la formula general

El **discriminante** de la fórmula general de una ecuación cuadrática, es la **cantidad subradical**  $b^2 - 4ac$  y se designa con la letra delta  $\Delta$ .

El **discriminante**  $\Delta$  es el que determinará las raíces (o soluciones) de una ecuación cuadrática.

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

- Cuando  $\Delta > 0$  la ecuación cuadrática tiene dos soluciones reales diferentes. Ya que  $\sqrt{\Delta}$  existe. Si  $\Delta$  es el cuadrado perfecto, ambas raíces son racionales, y si  $\Delta$  no es cuadrado perfecto, ambas raíces son irracionales.

- Cuando  $\Delta = 0$  la ecuación cuadrática tiene dos soluciones reales e iguales. Ya que la raíz cuadrada se anula ( $\sqrt{\Delta} = 0$ ), entonces las soluciones serían igual a  $-b/2a$ .

- Cuando  $\Delta < 0$  la ecuación cuadrática tiene dos soluciones complejas conjugadas, o sea, no tiene soluciones reales, ya que, la raíz cuadrada de un número negativo no es un número real. Son raíces imaginarias.

### Ejemplos aplicando la formula general

Resolver las siguientes ecuaciones aplicando la fórmula general:

a)  $8x^2 - 2x - 3 = 0$ .

$$a = 8 \quad b = -2 \quad c = -3$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación general y resolvemos;

$$x = \frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - (4 \cdot 8 \cdot (-3))}}{2 \cdot 8}$$

$$x = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 96}}{16}$$

$$x = \frac{2 \pm \sqrt{100}}{16}$$

$$x = \frac{2 \pm 10}{16}$$

$$x_1 = \frac{2 + 10}{16} = \frac{12}{16} = \frac{3}{4}$$

$$x_2 = \frac{2 - 10}{16} = \frac{-8}{16} = -\frac{3}{4}$$

**Respuesta:** Las raíces de la ecuación  $8x^2 - 2x - 3 = 0$  son;  $x_1 = 3/4$  y  $x_2 = -1/2$ . Como  $\Delta = 100$ , son soluciones reales y racionales.

b)  $x(x + 3) = 5x + 3$ .

Para aplicar la fórmula general primero debemos resolver la ecuación y ordenarla de la forma  $ax^2 + bx + c = 0$

$$x(x + 3) = 5x + 3$$

$$x^2 + 3x = 5x + 3$$

$$x^2 + 3x - 5x - 3 = 0$$

$$x^2 - 2x - 3 = 0$$

Ahora que esta ordenada la ecuación cuadrática, podemos identificar claramente los términos a, b y c, y aplicar la fórmula general.

$$a = 1 \quad b = -2 \quad c = -3$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación general y resolvemos;

$$x = \frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - (4 \cdot 1 \cdot (-3))}}{2 \cdot 1}$$

$$x = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 12}}{2}$$

$$x = \frac{2 \pm \sqrt{16}}{2}$$

$$x = \frac{2 \pm 4}{2}$$

$$x_1 = \frac{2 + 4}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$x_2 = \frac{2 - 4}{2} = -\frac{2}{2} = -1$$

**Respuesta:** Las raíces de la ecuación  $x(x + 3) = 5x + 3$  son;  $x_1 = 3$  y  $x_2 = -1$ .

Como  $\Delta = 16$ , son soluciones reales y racionales

## Funciones

Las funciones en matemáticas, nos sirven para modelar diversas relaciones entre distintos fenómenos o situaciones, que suceden en nuestra vida cotidiana, que tienen una causa y efecto, por ejemplo, la cantidad de kilómetros por hora recorridos por un vehículo **depende** de la velocidad, que el área de un cuadrado **depende** de la longitud de su lado, o que el costo de la producción está en **función** al valor de los materiales utilizados.

### Conceptos básicos de una función

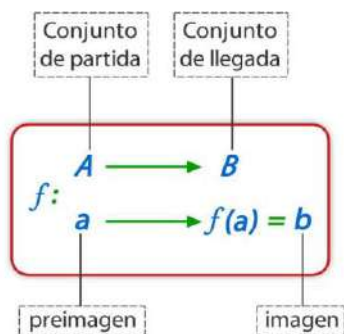
Una **función** es una relación entre dos magnitudes o cantidades, por ejemplo,  $x$  y  $f(x)$ , de manera que a cada valor de la primera magnitud llamada **preimagen**, le corresponde **un único valor de la segunda**, llamada **imagen**.

La primera magnitud o **preimagen** se dirá que es la **variable independiente** y a la segunda magnitud o **imagen** (que se deduce de la primera) se dirá que es la **variable dependiente**. Por ejemplo, si la variable independiente es  $x$ , la variable dependiente será  **$f(x)$** , que se lee "f de x", la

cual generalmente se designa con la letra  $y$ . Entonces, se dirá que,  $y$  es función de  $x$ , o que  $y$  depende de  $x$ .

Al conjunto inicial o de partida donde están las preimágenes se le llama **dominio** que se abrevia **Dom (f)** y al conjunto final o de llegada donde están las imágenes se llama **codominio** que se abrevia **Codom (f)**.

Por ejemplo, para una función  $f$  de un conjunto  $A$  en un conjunto  $B$ , la podemos representar matemáticamente de la siguiente forma;



Aquí podemos ver como  $f(a)$  representa la transformación del elemento  $a$  por la función  $f$  lo que da como resultado el elemento  $b$ . Se dirá que  $a$  es la preimagen de  $b$ , o al revés,  $b$  o  $f(a)$  es la imagen de  $a$  al ser procesada por  $f$ .

**En resumen,**

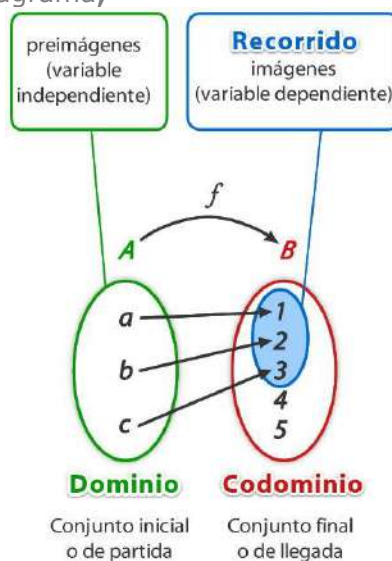
**Definición:** Dos conjuntos no vacíos,  $A$  y  $B$ , están relacionados matemáticamente como una **función  $f$**  de  $A$  en  $B$ , si y sólo si a cada elemento de  $A$  le corresponde una única imagen en  $B$ .

- El dominio de  $f$  es todo el conjunto  $A$ .  $\text{Dom}(f) = A$ .
- El codominio es todo el conjunto  $B$ .
- Un elemento del conjunto  $A$  no puede tener dos imágenes diferentes en  $B$ .
- Toda función es una relación, pero no toda relación es una función.

**Para entender más los conceptos explicados anteriormente, veremos algunos ejemplos;**

**Ejemplo 1.**

Sea la relación  $f$ , definida por el diagrama;



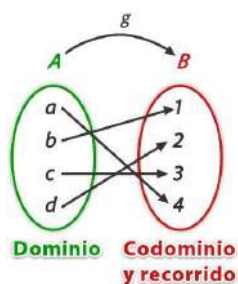
Podemos ver que, para cada elemento de **A**, existe **una sola imagen en B**, por lo tanto, el diagrama sagital corresponde a una función **f**, pero el **recorrido es más pequeño que el codominio**. Donde;

- El dominio de f es;  $\text{Dom}(f) = A = \{a, b, c\}$
- El Codominio de f es;  $\text{Codom}(f) = B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- El recorrido (o rango) es;  $\text{Rec}(f) = \{1, 2, 3\}$

Entonces, los elementos  $\{4,5\}$  no son imagen de ninguna preimagen en **A**, es decir, no pertenecen al recorrido.

### Ejemplo 2;

Sea **g** la relación, definida por el diagrama;



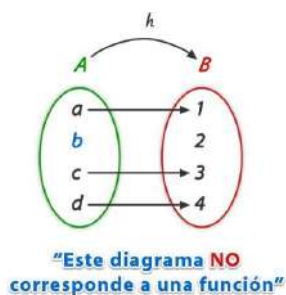
En este ejemplo, podemos ver que, para cada elemento de **A**, existe **una sola imagen en B**, por lo tanto, el diagrama sagital corresponde a una función **f**, y a diferencia del primer ejemplo, el recorrido coincide con el codominio, donde;

- El dominio de f es;  $\text{Dom}(f) = A = \{a, b, c, d\}$
- El Codominio de f es;  $\text{Codom}(f) = B = \{1, 2, 3, 4\}$
- El recorrido (o rango) es;  $\text{Rec}(f) = B = \{1, 2, 3, 4\}$

Entonces, todos los elementos del conjunto **B** de llegada tienen una preimagen en **A**.

### Ejemplo 3;

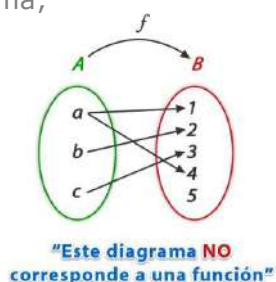
Sea **h** la relación, definida por el diagrama;



Este diagrama no representa una función **f**, ya que el elemento **b** del conjunto de partida **A**, **no tiene una imagen en el conjunto B** de llegada.

### Ejemplo 4;

Sea **f** la relación, definida por el diagrama;



El diagrama de esta relación tampoco representa una función  $f$ , ya que el elemento  $a$  del conjunto de partida  $A$ , **tiene dos imágenes en el conjunto  $B$**  de llegada.

### Representación gráfica de una función

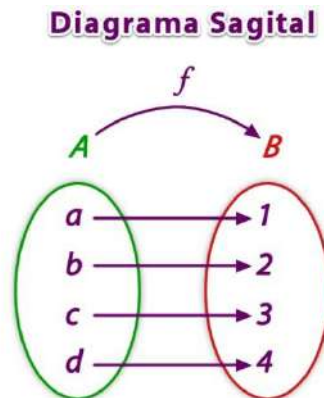
Una función  $f$  se puede representar de diferentes maneras entre las cuales está el diagrama sagital y el sistema de coordenadas o cartesiano.

### Diagrama Sagital.

Un diagrama llamado **sagital**, es la representación de dos conjuntos, por ejemplo,  $A$  y  $B$  que **relacionan con flechas** cada elemento de  $A$  (preimagen), con su respectiva imagen en  $B$ . Se indica en la parte superior la relación de  $A$  en  $B$  con una flecha curva.

Ejemplo,

Sea una función  $f$  definida por;  $f = \{(a,1), (b,2), (c,3), (d,4)\}$



### Sistema de coordenadas o cartesiano.

Las ecuaciones dadas para determinar una función, siempre tendrán dos incógnitas. Donde  $x$  será la variable independiente (preimagen) e  $y$  será la variable dependiente (imagen), por lo tanto,  $f(x) = y$ . Entonces, para obtener los puntos reemplazamos los valores de  $x$  en la función y resolvemos. Es útil anotar estos datos en una tabla con los valores para  $x$  e  $y$ .

Para representar una función en el sistema de coordenadas, consideramos los elementos del dominio (conjunto de las preimágenes) en el eje horizontal de las abscisas (eje  $x$ ) y los elementos del recorrido (imágenes) en el eje vertical de las ordenadas (eje  $y$ ).

Se marcan los puntos correspondientes a cada relación,  $(x, y)$  y se unen con una línea continua, así obtenemos la representación gráfica de la función en el sistema de coordenadas.

### Ejemplo,

Representar en el sistema cartesiano una función real  $f$ , donde  $f(x) = x + 1$ .

Si reemplazamos los valores de  $x$  en la función;

$$- f(1) = 1 + 1 = 2$$

$$- f(2) = 2 + 1 = 3$$

$$- f(3) = 3 + 1 = 4$$

$$- f(-1) = -1 + 1 = 0$$

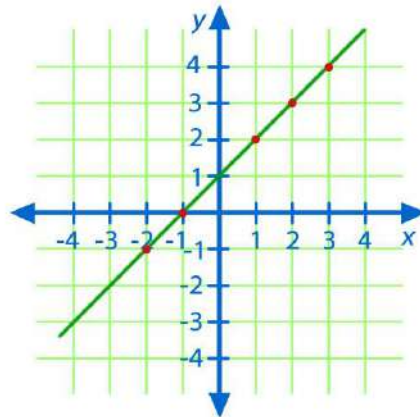
$$- f(-2) = -2 + 1 = -1$$

- etc.

Obtuvimos las coordenadas  $(1,2)$   $(2,3)$   $(3,4)$   $(-1,0)$   $(-2,-1)$ . Estos son sólo algunos de los puntos que se pueden obtener reemplazando los valores en la función, ya que, los puntos a esta función son ilimitados para los números reales.



x	1	2	3	-1	-2
y	2	3	4	0	-1

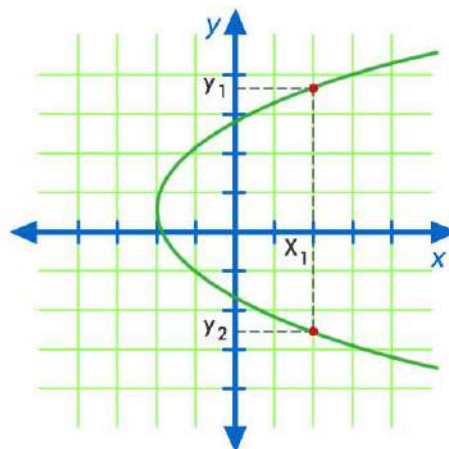


Podemos ver que es una función lineal.

A través del sistema de coordenadas puedes determinar si un gráfico es o no una función, ya que si lo analizas puedes ver los valores que toma  $x$  e  $y$ .

### Ejemplo,

Indica si este gráfico representa una función de  $x$  en  $y$ .



Este gráfico **NO** es una función, ya que a un mismo valor de  $x$  le corresponden dos imágenes en  $y$ .

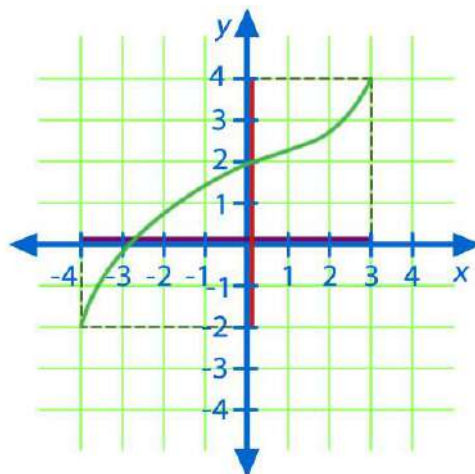
### ¿Cómo encontrar el dominio y el conjunto imagen de una función real?

#### A partir de su representación gráfica

Para encontrar el dominio y el conjunto imagen a partir de la representación gráfica de una función, deberás fijarte en la proyección de esta sobre el eje de coordenadas. Como ya sabes, los valores del dominio se expresan en eje de las abscisas (eje  $x$ ), y las imágenes en el eje de las ordenadas (eje  $y$ ).

### Ejemplo,

Determina el dominio y el conjunto imagen de la función a partir de su gráfica.



Podemos observar que todos los valores de la variable independiente  $x$ , son todos los números reales entre el  $-4$  y el  $3$ , y los valores que toma la variable dependiente son los números reales entre el  $-2$  y  $4$ .

Entonces,

- El dominio de  $f$  corresponde a;  $\text{Dom}(f) = \text{intervalo } [-4, 3]$
- El conjunto imagen corresponde a;  $\text{Img}(f) = \text{intervalo } [-2, 4]$

### A partir de su representación algebraica

A partir de una representación algebraica puedes encontrar el dominio y conjunto imagen de una función real, fijándote en los valores que pueden o no tomar las incógnitas  $x$  e  $y$ , respectivamente. **Estos valores tienen que cumplir que; al ser reemplazados en la función, ésta no sea indeterminada, es decir, que la función sea real.** Entonces, la función serán todos los números reales menos aquellos valores donde se indetermina.

Para determinar el dominio y conjunto imagen de una función, te debes fijar en los siguientes casos;  
**a) Cuando la incógnita  $x$  está en el denominador de la ecuación.**

Para encontrar el dominio de la función en estos casos, debes recordar que cuando un número está dividido por cero, es un número indefinido, por lo tanto, el valor de la incógnita  $x$  no puede dar como resultado que el denominador sea  $0$ .

Para determinar el recorrido de una función real, debes hallar el dominio de su función inversa  $f^{-1}(x)$ , para esto tenemos que despejar  $x$ , recordando que  $f(x) = y$ .

**Ejemplo:**

**Determina el dominio y recorrido de la función real  $f(x) = \frac{2}{x-3}$**

Para determinar su dominio, igualamos a cero el denominador  $x - 3$ . El resultado será el valor que no sirve para la función;

$$x - 3 = 0 \quad x = 3$$

Entonces, el dominio de la función es el conjunto de los números reales menos el  $3$ , ya que, si reemplazamos la  $x$  con el número  $3$  la función sería indeterminada, es decir, no estaría dentro de los números reales. Se escribe matemáticamente;

$$\text{Dom } f = \mathbb{R} - \{3\}$$

Para determinar el conjunto imagen, despejamos  $f(x) = y$ .

$$f(x) = \frac{2}{x-3}$$

$$y = \frac{2}{x-3}$$

$$(x-3)y = 2$$

$$x-3 = \frac{2}{y}$$

$$x = \frac{2}{y} + 3$$

$$x = \frac{2+3y}{y}$$

Entonces  $y$  no puede ser cero; el conjunto imagen de la función serían todos los números reales menos el 0;

$$\text{Rec } f = \mathbb{R} - \{0\}$$

### b) Cuando la incógnita $x$ está en la cantidad subradical.

Para determinar el dominio en estos casos, tienes que considerar que cuando la cantidad subradical de una expresión es negativa, el resultado será un número indefinido, por lo tanto, los valores que tome la incógnita  $x$ , tienen que dar como resultado que la cantidad subradical sea igual o mayor que cero.

Para determinar el recorrido en estos casos, como el recorrido depende del dominio, será igual al conjunto de números reales positivos incluyendo al 0, ya que, si reemplazamos el dominio, solo se obtendrán valores positivos para la función  $f(x)$ .

#### Ejemplo:

Determina el dominio y recorrido de la función real  $g(x) = \sqrt{x-1}$

Para determinar su dominio, sabemos que la cantidad subradical tiene que ser mayor o igual a cero, por lo tanto;

$$x-1 \geq 0$$

$$x \geq 1$$

Entonces, el dominio para esta función son todos los números reales mayores o iguales a 1.

$$\text{Dom } g = [1, \infty +)$$

### c) Cuando la incógnita $x$ está en un logaritmo.

La función logaritmo está definida de la forma;

$$f(x) = \log_a(x)$$

Siendo  $a$  un número fijo, positivo, distinto de 1.

Para encontrar el dominio cuando es una función logaritmo, debes recordar que los logaritmos NO están definidos para los números negativos, por lo tanto, el dominio tiene que ser mayor que cero. Por lo tanto, los valores que tome la incógnita  $x$  deben hacer que la función sea mayor que cero.

El conjunto imagen es similar en todos los casos con logaritmos, por lo tanto, son todos los números reales.

### Ejemplo:

Determina el dominio y conjunto imagen de la función  $f(x) = \log_2(x - 7)$

Para determinar el dominio sabemos que  $x - 7$  tiene que ser mayor que 0 por lo tanto;

$$f(x) = \log_2(x - 7)$$

$$(x - 7) > 0$$

$$x > 7$$

Entonces  $x$  debe ser mayor que 7 para que se cumpla la función.

$$\text{Dom } f = (7, \infty +)$$

El conjunto imagen es similar para todos los casos con logaritmo;

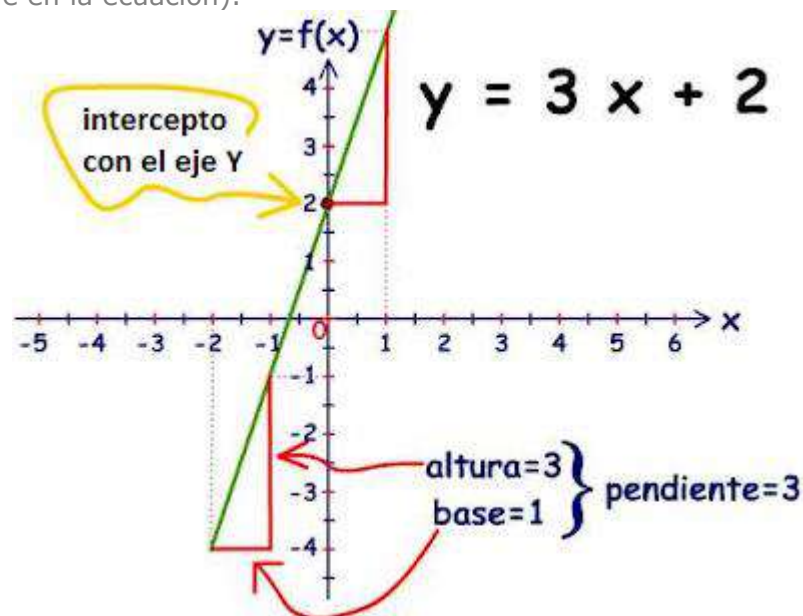
$$\text{Rec } g = (-\infty, \infty +)$$

## FUNCIÓN LINEAL

Una función lineal es una función cuyo dominio son todos los números reales, cuyo codominio también todos los números reales, y cuya expresión analítica es un polinomio de primer grado.

La función lineal se define por la ecuación  $f(x) = mx + b$  ó  $y = mx + b$  llamada **ecuación canónica**, en donde  $m$  es la pendiente de la recta y  $b$  es la intersección con el eje Y u ordenada al origen.

Por ejemplo, son funciones lineales  $f(x) = 3x + 2$   $g(x) = -x + 7$   $h(x) = 4$  (en esta  $m = 0$  por lo que  $0x$  no se pone en la ecuación).



Esta es la gráfica de la función lineal  $y = 3x + 2$

Vemos que  $m = 3$  y  $b = 2$  (de la forma  $y = mx + b$ )

Este número **m** se llama pendiente de la recta y es la relación entre la altura y la base de un triángulo rectángulo que indica la variación en el eje Y por cada unidad que varía el eje X, aquí vemos que por cada unidad recorrida en **x** la recta sube 3 unidades en **y** por lo que la pendiente es  $m = 3$ . **b** es la ordenada al origen de la recta (donde la recta se cruza con el eje Y)

Volvamos al ejemplo de las funciones lineales

**f(x) = 3x+2** Si x es 3, entonces  $f(3) = 3 \cdot 3 + 2 = 11$

Si x es 4, entonces  $f(4) = 3 \cdot 4 + 2 = 14$

Si x es 5, entonces  $f(5) = 3 \cdot 5 + 2 = 17$

Cada vez que la **x** se incrementa en 1 unidad, el resultado, esto es, **f(x)**, se incrementa en **3** unidades. **Si el valor de la pendiente es positivo la función es Creciente.** Preste atención en que los valores de **x** y de **f(x)** NO SON PROPORCIONALES.

Lo que son proporcionales son los incrementos.

**g(x) = -3x+7** Si x= 0, entonces  $g(0) = -3 \cdot (0) + 7 = 0 + 7 = 7$

Si x= 1, entonces  $g(1) = -3 \cdot (1) + 7 = -3 + 7 = 4$

Si x= 2, entonces  $g(2) = -3 \cdot (2) + 7 = -6 + 7 = 1$

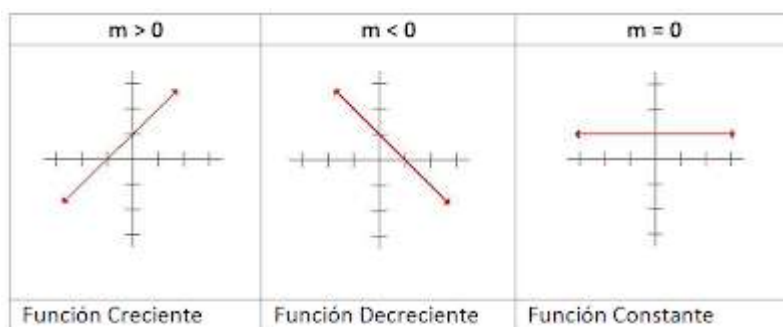
Cada vez que la **x** se incrementa en 1 unidad, el resultado, esto es, **g(x)**, disminuye en **3** unidades. **Si el valor de la pendiente es negativo la función es Decreciente.**

**h(x) = 4** m=0 Si x= 0, entonces  $h(0) = 4$

Si x= 98 entonces  $h(98) = 4$

Cada vez que la **x** se incrementa en 1 unidad, el resultado, esto es, **h(x)**, NO varía, entonces **la función es constante.** Su gráfica es una recta paralela al eje X.

Esta es la representación gráfica de los tres tipos de funciones descritas.



Ahora veamos como graficar una función.

### Ejemplos

Representa gráficamente las siguientes funciones lineales  $y = 2x$  y  $y = -3x + 4$

**Sugerencia:** Primero elabora una tabla de valores, luego ubica los pares de puntos de la tabla en el plano cartesiano y finalmente únelos con una línea recta.

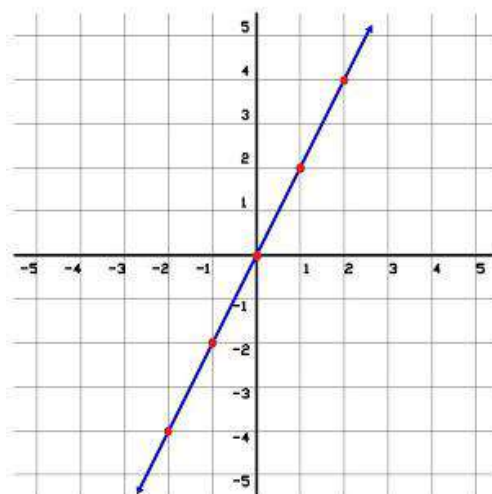
1.  $y = 2x$

Vamos a hacerlo con dos valores de  $x$  para que sepas de donde salen los valores.

Para  $x = -2$ ,  $y = 2(-2) = -4$  quedando la pareja  $(-2, -4)$

Para  $x = 1$ ,  $y = 2(1) = 2$  quedando la pareja  $(1, 2)$

$X$	$y = 2x$
-2	-4
-1	-2
0	0
1	2
2	4



2.  $y = -3x + 4$

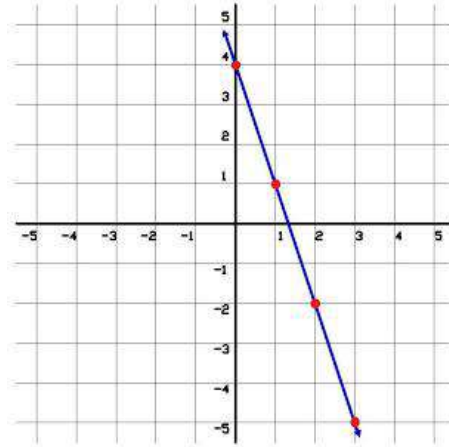
Vamos a hacerlo con dos valores de  $x$  para que sepas de donde salen los valores.

Para  $x = -1$ ,  $y = -3(-1) + 4 = 7$  quedando la pareja  $(-1, 7)$

Para  $x = 2$ ,  $y = -3(2) + 4 = -2$  quedando la pareja  $(2, -2)$

$X$	$y = -3x + 4$
-1	7
0	4
1	1
2	-2
3	-5





## Función cuadrática

Función cuadrática es aquella función que está determinada por la ecuación de segundo grado (cuadrática) de la forma;

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c$$

Donde **a**, **b** y **c** son números reales, y **a**  $\neq$  **0**, ya que si  $a = 0$  se anula  $x^2$ , y no sería una ecuación cuadrática.

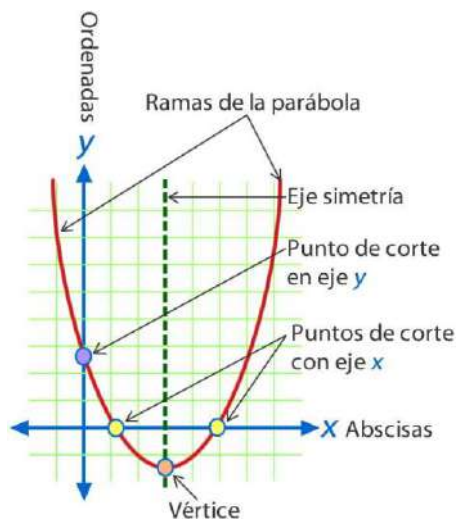
La representación gráfica de una función cuadrática se denomina **parábola**.

### Representación gráfica: Parábola

La parábola de la función cuadrática, es una curva simétrica con respecto a una recta paralela al **eje de las ordenadas**, la cual se denomina **eje de simetría**. La parábola se compone de todos los pares ordenados **(x, y)** que satisfacen la ecuación cuadrática  $y = ax^2 + bx + c$ .

El trazado de parábola de la función cuadrática está determinado por un **vértice**, por el cual se traza el eje de simetría, los **puntos de corte en el eje x** y el **punto de corte en el eje y**. Al trazado de la parábola se le denomina **ramas de la parábola**.

Si graficamos una parábola de una función cuadrática, podemos ver:



Estos puntos que forman la parábola, están determinados por los coeficientes numéricos **a** y **b** de  $x^2$  y  $x$  respectivamente, y el término independiente **c** de la ecuación cuadrática.

Ecuación de 2º grado;

$$a x^2 + b x + c = 0$$

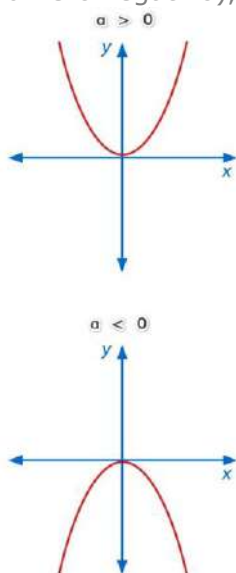
↓
↓
↓

Coeficiente numérico de  $x^2$ 
Coeficiente numérico de  $x$ 
Término independiente

### Ramas de la parábola

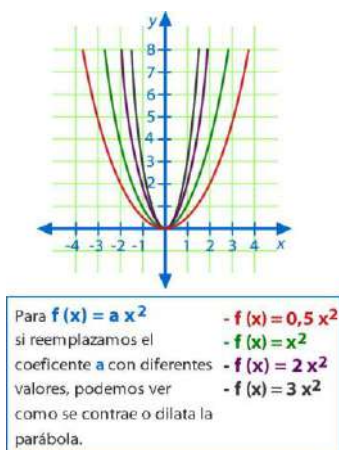
Para determinar el sentido de las ramas de la parábola (hacia arriba o hacia abajo), dependerá del coeficiente numérico **a** de  $x^2$ .

Si **a** es mayor que cero (o sea, **a** es un número positivo), las ramas de la parábola irán hacia arriba, y si **a** es menor que cero (o sea, **a** es un número negativo), las ramas de la parábola irán hacia abajo.



También dependerá del coeficiente numérico **a**, la dilatación o contracción de la parábola, ya que, si **augmenta** el valor absoluto de **a**, **la parábola se contrae** y si **disminuye** el valor absoluto de **a**, **la parábola se dilata**.

Veamos un ejemplo;



### Punto de corte con el eje y

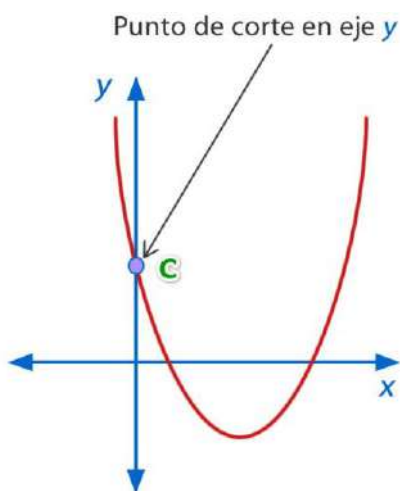
El punto de corte en el eje **y** está determinado por el valor del término independiente **c**, ya que, si analizamos una función cuadrática  $y = f(x) = ax^2 + bx + c$ , con  $x = 0$  obtenemos;

$$y = f(0) = a \cdot 0^2 + b \cdot 0 + c$$

Entonces:

$$y = c$$

Entonces, el punto de coordenadas **(0, c)** de una función cuadrática  $f(x) = ax^2 + bx + c$  corresponde al punto en que la parábola **corta al eje y**.



### Puntos de corte con el eje X

Para determinar los puntos donde la parábola atravesará el **eje x o de las abscisas**, analizaremos la función cuadrática  $y = f(x) = ax^2 + bx + c$ . Primero, sabemos que los puntos sobre el eje x tienen que tener coordenada y igual a cero ( $x, 0$ ), por lo tanto, la función es igual a cero  $y = f(x) = 0$ , que es igual a;

$$0 = ax^2 + bx + c$$

Como puedes ver, tenemos una ecuación de segundo grado con una incógnita, la cual podemos resolver con la **fórmula general**;

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Entonces, así obtenemos las dos raíces de la ecuación cuadrática, serían los puntos de intersección con el eje x. Las coordenadas de estos puntos serán;

$$(x_1, 0)$$

$$\left( \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, 0 \right)$$

$$(x_2, 0)$$

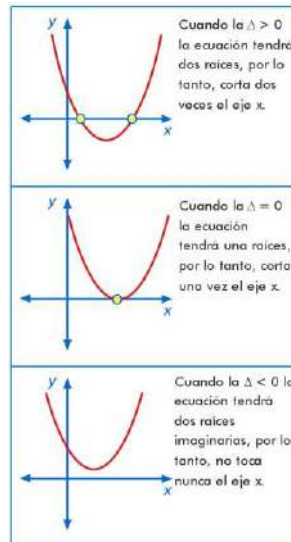
$$\left( \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, 0 \right)$$

Como sabemos, las raíces de una ecuación cuadrática dependen del **discriminante**.

**Recuerda que el discriminante es la cantidad subradical  $b^2 - 4ac$  y se designa con la letra delta.**

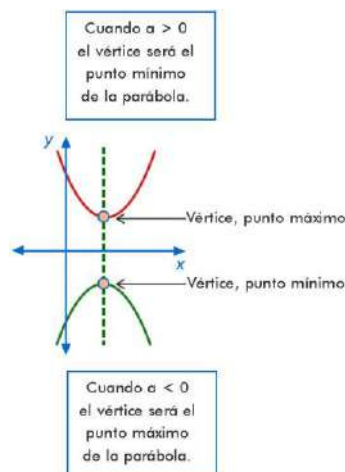
$$\Delta = b^2 - 4ac$$

Según el valor del discriminante, la función cuadrática corta dos, una o ninguna vez el eje x;



### Vértice y eje de simetría

El vértice es el punto donde cambia de dirección la parábola, es por donde pasa el eje de simetría. Cuando  $a > 0$  el vértice será el punto mínimo de la parábola, en cambio, si  $a < 0$  el vértice será el punto máximo de la parábola.



Para encontrar el vértice, debemos obtener las **coordenadas** de este punto. Para esto, sabemos que la parábola es simétrica, por lo tanto, podemos encontrar el **componente x del vértice** que se denomina  $x_v$ , ya que está justo en la mitad entre las raíces (o soluciones) de la ecuación cuadrática.

Entonces, el componente  $x_v$ , lo podemos encontrar promediando las raíces;

$$x_v = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

Según las propiedades de las raíces  $x_1 + x_2 = (-b/a)$ . Reemplazamos;

$$x_v = \frac{\left(-\frac{b}{a}\right)}{2}$$

$$x_v = -\frac{b}{2a}$$

Obteniendo este punto podemos trazar el **eje de simetría**, ya que, éste es una **recta paralela al eje y** (ordenadas) y que pasa por el vértice.

Luego, para encontrar el **componente y**, que se denomina  $y_v$ , reemplazamos  $x_v$  en la fórmula de función cuadrática;

$$y_v = f(x_v)$$

$$y_v = a x_v^2 + b x_v + c$$

$$y_v = a \left(-\frac{b}{2a}\right)^2 + b \left(-\frac{b}{2a}\right) + c$$

$$y_v = a \left(\frac{b^2}{4a^2}\right) - \frac{b^2}{2a} + c$$

$$y_v = \frac{b^2}{4a} - \frac{2b^2}{4a} + c$$

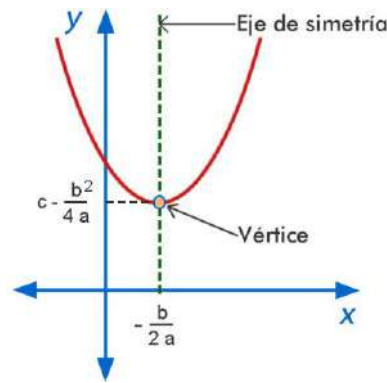
$$y_v = \frac{b^2 - 2b^2}{4a} + c$$

$$y_v = c - \frac{b^2}{4a}$$

Entonces, las coordenadas del vértice de una parábola de función cuadrática de la forma  $f(x) = ax^2 + bx + c$  serán;

$$(x_v, y_v) = \left(-\frac{b}{2a}, c - \frac{b^2}{4a}\right)$$

Si lo graficamos sería;



Si analizamos estas coordenadas vemos que;

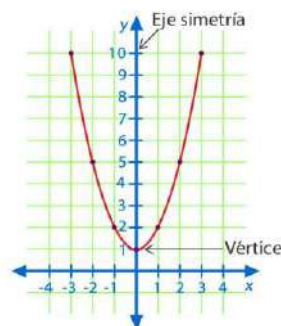
- Si  $b = 0$ , el eje  $y$  es el eje de simetría de la parábola.
- Si  $a > 0$  y  $b > 0$ , el vértice de la parábola se encontrará a la izquierda del eje  $y$ , ya que;  $-b/2a < 0$ .
- Si  $a > 0$  y  $b < 0$ , el vértice de la parábola se encontrará a la derecha del eje  $y$ , ya que;  $-b/2a > 0$ .
- Si  $a < 0$  y  $b < 0$ , el vértice de la parábola se encontrará a la izquierda del eje  $y$ , ya que;  $-b/2a < 0$ .
- Si  $a < 0$  y  $b > 0$ , el vértice de la parábola se encontrará a la derecha del eje  $y$ , ya que;  $-b/2a > 0$ .

### Ejemplos de funciones cuadráticas;

1) Grafiquemos la función  $y = x^2 + 1$ .

Para poder graficar esta función cuadrática debemos asignar arbitrariamente valores a  $x$  para encontrar los que corresponden a  $y$ . Luego de hacer esta tabla podrás graficar en el plano cartesiano.

$x$	-3	-2	-1	0	1	2	3
$y$	10	5	2	1	2	5	10



En la parábola de esta función podemos observar que;

- La curva no toca el eje  $x$ , porque las raíces son imaginarias.

Esto lo que podemos comprobar si reemplazamos  $b^2 - 4ac = 0^2 - 4 = -4$ . Como la discriminante es negativa la curva no toca el eje  $x$ .

- La parábola está hacia arriba ya que  $a = 1$ , o sea,  $a > 0$ .

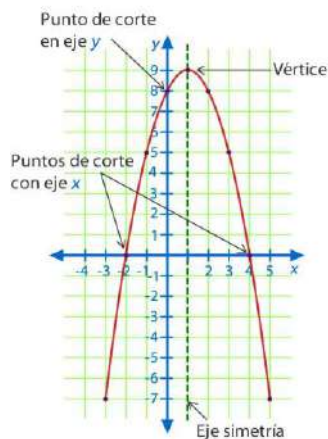
- El vértice es  $(0, 1)$  para esta función como  $a > 0$  es el punto mínimo de la parábola, y el eje de simetría corresponde al eje de las ordenadas.

- El **eje  $y$**  se corta en el mismo punto del vértice, ya que  $c = 1$ .

2) Grafiquemos la función  $y = -x^2 + 2x + 8$ .

Igual como en el ejemplo 1 asignamos valores a  $x$  para encontrar los que corresponden a  $y$ , luego graficamos.

x	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
y	-7	0	5	8	9	8	5	0



En la parábola de esta función podemos observar que;

- La curva toca al **eje x** en dos puntos cuyas coordenadas son **(-2,0)** y **(4,0)**. Recuerda que los puntos donde la parábola corta el **eje x** son las raíces de la ecuación cuadrática.

Además, podemos comprobar que la parábola corta al **eje x** en dos puntos, ya que, si reemplazamos los datos en la discriminante  $b^2 - 4ac = 4 + 32 = 36$ . Como la discriminante es positiva la curva corta al eje x en dos puntos.

- La parábola está hacia abajo ya que  $a = -1$ , o sea,  $a < 0$ .

- El vértice es **(1,9)** para esta función como  $a < 0$  es el punto máximo de la parábola. Lo puedes verificar ocupando las fórmulas para encontrar el vértice  $(-b/2a, c - b^2/4a)$ .

- El **eje y** se corta en el punto **(0,8)**, ya que  $c = 8$ .



## BIBLIOGRAFÍA

- Curtis, H; Barnes, N; Schnek, A; Massarini, A; (2008), *Curtis Biología*, Editorial Médica Panamericana.
- Brüel, A; Christensen, E; Qvortrup, K; Tranun-Jensen, J; Geneser, F; (2012), *Geneser Histología*, Editorial Médica Panamericana.
- Pawlina, W, (2015), *Ross. Histología*, Wolters-Kluwer.
- Eynard, A; Valentich, M; Rovasio,R; (2016), *Histología y Embriología humanas*, Editorial Médica Panamericana.
- Patton,K; Thibodeau, G; (2013), *Anatomía y Fisiología*, Elsevier.
- Latarjet, M; Ruiz Liard, A; (2005), *Anatomía Humana*, Editorial Médica Panamericana.
- Murray, R; Bender, D; Botham, K; Kennelly, P; Rodwell, V; Weil, P; (2013), *Harper. Bioquímica Ilustrada*, Mc Graw Hill.

Coordinador

Carlos Enrique Recce

Colaboradores

Marcela Martinelli

Mariana Castañeira

Ricardo Escowich

Diego Manni

Guillermo Blason