

2012 / 13

FISIOLOGÍA GENERAL Y DEL SISTEMA NERVIOSO



Apuntes Universidad de Murcia - Chema Carmona

Contenido

Tema 1. Introducción a la fisiología	7
1.1. Concepto de fisiología	7
1.2. Niveles de organización.....	7
1.3. Homeostasis	8
1.4. Coordinación de la homeostasis.....	8
1.5. Mecanismos de control	9
1.5.1. Control local	9
1.5.2. Control reflejo	9
1.6. Medio interno	10
1.7. Compartimentos de los líquidos del organismo	11
1.7.1. Volumen.....	12
1.7.2. Composición	12
1.7.3. Osmolaridad	13
1.7.4. Tonicidad de una solución	14
Tema 2. Fisiología de las membranas biológicas	15
2.1. Membrana celular	15
2.2. Composición molecular de la membrana celular.....	15
2.3. Funciones de la membrana celular	15
2.4. Mecanismos de transporte a través de la membrana.....	16
2.4.1. Difusión simple	16
2.4.2. Difusión facilitada	17
2.4.3. Transporte activo	18
Tema 3. Fisiología de las células excitables	19
3.1. Potencial de membrana en reposo.....	19
3.2. Potencial de equilibrio de K ⁺	19
3.3. Factores que generan el potencial de la membrana en reposo.....	21
3.4. Cambios en el potencial de membrana	21
3.5. Señales eléctricas en las neuronas.....	21
3.5.1. Potenciales graduados.....	22
3.5.2. Potenciales de acción	22
3.6. Neuronas	25
3.6.1. Áreas funcionales	25
3.7. Propagación del potencial de acción.....	26
3.8. Conducción	26
3.9. Factores que afectan a la velocidad de conducción del impulso nervioso	28
Tema 4. Comunicación intercelular en el sistema nervioso	29
4.1. Sinapsis	29
4.1.1. Sinapsis eléctricas	29
4.1.2. Sinapsis químicas.....	29
4.1.3. Transmisión en la sinapsis química	30
4.1.4. Estructura de la hendidura sináptica	31
4.2. Señales neurocrinas.....	31
4.3. Neurotransmisores.....	32
4.3.1. Acetilcolina.....	32
4.3.2. Aminas.....	32
4.3.3. Aminoácidos	33
4.3.4. Péptidos.....	33
4.3.5. Purinas	33
4.3.6. Gases.....	33
4.3.7. Lípidos.....	33
4.4. Receptores.....	34
4.5. Potenciales postsinápticos	34
4.6. Integración de la transferencia de la información neural.....	35
4.6.1. Sumación	36
4.7. Otros fenómenos que alteran la actividad sináptica.....	37

4.7.1.	Modulación postsináptica.....	37
4.7.2.	Modulación presináptica	37
4.8.	Trastornos en la actividad sináptica.....	38
Tema 5.	Organización general del sistema nervioso	39
5.1.	Estructura y función del sistema nervioso central.....	39
5.2.	Células de la glía	40
5.3.	Líquido cefalorraquídeo	41
5.3.1.	Circulación del LCR	41
5.3.2.	Funciones del LCR.....	41
5.3.3.	Barrera hematoencefálica.....	42
Tema 6.	Médula espinal	43
6.1.	Estructura de la médula espinal	43
6.1.1.	Sustancia gris	43
6.1.2.	Sustancia blanca	44
6.2.	Funciones de la médula espinal.....	45
Tema 7.	Encéfalo	46
7.1.	Divisiones y estructuras relacionadas.....	46
7.2.	Tronco encefálico.....	46
7.2.1.	Bulbo raquídeo.....	47
7.2.2.	Protuberancia	47
7.2.3.	Mesencéfalo.....	48
7.3.	Diencefalo	48
7.3.1.	Tálamo.....	48
7.3.2.	Hipotálamo	48
7.4.	Cerebelo	49
7.5.	Corteza cerebral.....	49
7.5.1.	Organización.....	49
7.5.2.	Funciones	50
7.5.3.	Estructuras relacionadas.....	51
Tema 8.	Sistema nervioso autónomo	53
8.1.	Introducción	53
8.2.	Sistema nervioso autónomo	53
8.3.	Organización anatómica del SNA	54
8.4.	Neurotransmisores en el SNA.....	55
8.5.	Resumen de las divisiones simpática y parasimpática	55
8.6.	Centros encefálicos de control autónomo.....	56
8.7.	Comparación entre divisiones somática y autónoma	57
Tema 9.	Sistemas sensitivos.....	58
9.1.	Introducción	58
9.2.	Sistemas sensoriales	58
9.3.	Neurorreceptores.....	58
9.3.1.	Clasificación de los neurorreceptores	59
9.3.2.	Mecanismos de transducción.....	60
9.3.3.	Codificación de los estímulos.....	61
9.4.	Sensibilidad somática.....	63
9.5.	Neurorreceptores de la sensibilidad somática	63
9.5.1.	Mecanorreceptores	64
9.5.2.	Termorreceptores.....	64
9.5.3.	Nociceptores.....	65
9.5.4.	Propioceptores.....	65
9.6.	Vías medulares de la sensibilidad somática	66
9.7.	Sentidos especiales. Quimiorrecepción	66
9.7.1.	Olfato.....	66
9.7.2.	Gusto	67
9.7.3.	Visión.....	69
9.7.4.	audición	73

9.7.5. Aparato vestibular	76
Tema 10. Fisiología del músculo.....	78
10.1. Tipos de tejido muscular	78
10.2. Músculo esquelético	78
10.2.1. Estructura del músculo esquelético.....	78
10.2.2. Estructura de una fibra muscular esquelética	79
10.2.3. Ultraestructura de la fibra muscular	80
10.2.4. Miosina: filamentos gruesos	80
10.2.5. Actina: filamentos delgados	81
10.2.6. Sarcómero: unidad funcional	81
10.2.7. Proteínas accesorias: titina y nebulina.....	82
10.2.8. Teoría del deslizamiento de filamentos y formación de puentes cruzados	82
10.2.9. Bases bioquímicas de la contracción muscular.....	82
10.2.10. Reguladores de la contracción muscular.....	83
10.2.11. Fases que conducen a la contracción	84
10.2.12. Unión neuromuscular.....	84
10.2.13. Placa terminal motora	85
10.2.14. Eventos en la unión neuromuscular	85
10.2.15. Acoplamiento excitación contracción	86
10.2.16. Concepto de unidad motora.....	86
10.2.17. Tipos de fibra muscular	87
10.2.18. Frecuencia de estimulación.....	87
10.2.19. Relación longitud-tensión	88
10.2.20. Carga	89
10.3. Control del movimiento corporal	89
10.3.1. Reflejos musculares esqueléticos.....	89
10.3.2. Huso muscular y reflejo miotático.....	90
10.3.3. Órgano tendinoso de Golgi	91
10.4. Control motor	92
10.4.1. Niveles de control motor.....	92
Tema 11. Prácticas de neurofisiología.....	94
11.1. Sistema sensorial	94
11.1.1. Proyección.....	94
11.1.2. Discriminación del tacto entre dos puntos	95
11.2. Exploración sensitivo-motora.....	95
11.2.1. Reflejos de estiramiento muscular	96
11.2.2. Reflejos superficiales.....	97
11.2.3. Reflejos viscerales	98
11.2.4. Importancia clínica de la exploración de los reflejos.....	99
11.3. Coordinación	99
Exámenes de años anteriores	101
Glosario.....	109
Bibliografía.....	114

TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA FISIOLÓGÍA

1.1. CONCEPTO DE FISIOLÓGÍA

La **fisiología** es el estudio del funcionamiento normal de un organismo vivo y las partes que lo componen, incluidos sus procesos físicos y químicos. La palabra fisiología significa literalmente "estudio de la naturaleza". Aristóteles (384-322 a.C.) utilizó el término en este sentido amplio para describir el funcionamiento de todos los organismos vivos, no solamente el del cuerpo humano. Pero Hipócrates (hacia 460-377 a.C.), considerado el padre de la medicina, usaba el término fisiología con el significado de "el poder curativo de la naturaleza", y por lo tanto la disciplina se asoció más estrechamente a la medicina. Hacia el siglo XVI en Europa, la fisiología se había establecido formalmente como el estudio de las funciones vitales del cuerpo humano, aunque hoy, el término se usa nuevamente para referirse al estudio de las funciones de todos los animales y las plantas.

En contraste, la **anatomía** es el estudio de la estructura, con mucho menos énfasis en la función. A pesar de esta distinción, la anatomía y la fisiología no pueden en realidad separarse. La función de un tejido u órgano se relaciona estrechamente con su estructura, y se supone que esta estructura evolucionó para brindar una base física eficaz para su función.

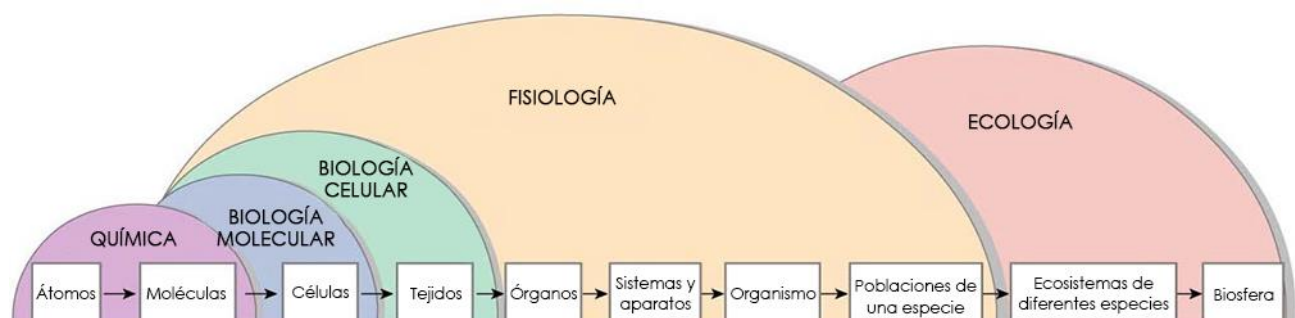
Es una **ciencia multidisciplinaria**. Los fisiólogos consideran que los procesos que tienen lugar en el organismo siguen las mismas leyes físico-químicas que rigen el mundo inanimado e intentan describir las funciones biológicas apoyándose en conceptos físicos, químicos y de ingeniería.

Es una **ciencia integradora**. Los fisiólogos están entrenados para pensar en la integración de las funciones a través de varios niveles de organización, desde las moléculas al organismo vivo. (*Integrar significa sumar varios elementos para crear un todo unificado*). Uno de los desafíos actuales de la fisiología es integrar la información sobre los diferentes sistemas y órganos para obtener una visión completa del organismo humano vivo.

1.2. NIVELES DE ORGANIZACIÓN

El cuerpo humano está organizado por niveles estructurales y funcionales de complejidad creciente. En esta organización, cada nivel incorpora elementos del nivel previo y las disciplinas que se ocupan de estudiar cada uno de estos niveles se solapan considerablemente entre sí.

Una característica distintiva de la fisiología es que comprende muchos niveles de organización, desde el nivel molecular en adelante hasta una especie.



1.3. HOMEOSTASIS

La **homeostasis** es el mantenimiento de la constancia del **medio interno** por la acción coordinada de los procesos fisiológicos. También forma parte de la homeostasis el mantenimiento de la constancia estructural y funcional de las células, tejidos y órganos.

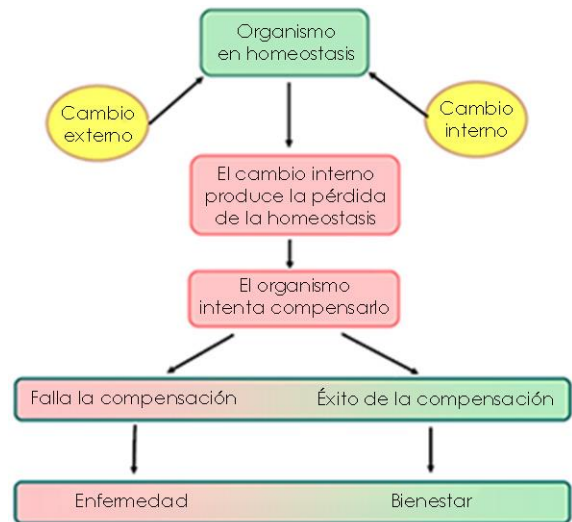
La homeostasis y la regulación del medio interno constituye uno de los preceptos fundamentales de la fisiología, puesto que un fallo en la homeostasis deriva en un mal funcionamiento de los diferentes órganos.

El concepto de un medio interno relativamente estable fue desarrollado por el médico francés Claude Bernard a mediados del siglo XIX.

En 1929, un fisiólogo estadounidense llamado Walter B. Cannon creó la palabra *homeostasis* para describir la regulación de este medio interno. Cannon propuso una lista de parámetros que se encuentran bajo control homeostático y los procesos que mantienen su constancia.

El medio interno acuoso de los animales multicelulares se llama líquido extracelular. El líquido extracelular sirve como transición entre el medio externo del organismo y el líquido intracelular del interior de las células. Como el líquido extracelular es una zona reguladora entre el mundo exterior y la mayoría de las células del cuerpo, hay procesos fisiológicos complejos que han evolucionado para mantener relativamente estable su composición.

Cuando la composición del líquido extracelular se aleja de su rango de valores normales, se activan mecanismos compensatorios que lo llevan a su estado normal (*sensores, centros integradores y respuesta de las células y órganos*). Si la compensación tiene éxito, la homeostasis se restablece. Si la compensación falla, puede aparecer la enfermedad.



1.4. COORDINACIÓN DE LA HOMEOSTASIS

Tejidos, órganos y sistemas realizan funciones que ayudan a mantener la homeostasis.

- El **sistema endocrino**. La actividad de los diferentes órganos y sistemas necesita ser coordinada y regulada de manera que estos puedan actuar juntos para satisfacer las necesidades del organismo. El sistema endocrino, a través de sus hormonas, ayuda a regular el crecimiento, la función reproductora, a controlar el metabolismo celular, y a mantener el equilibrio hídrico y el pH interactuando con el sistema renal. El sistema endocrino detecta cambios y libera reguladores químicos (*hormonas*) generando cambios lentos.
- El **sistema nervioso**. Constituye otro sistema regulador y coordinador de la actividad de los diferentes órganos y sistemas. El sistema nervioso detecta señales y envía impulsos nerviosos que inducen cambios rápidos.
- El **sistema respiratorio**. La energía requerida para desarrollar las numerosas funciones del cuerpo deriva fundamentalmente de la respiración que constituye la función fundamental del sistema respiratorio. El proceso de respiración involucra la oxidación de azúcares y grasas para liberar en forma de ATP la energía que estas moléculas contienen. El oxígeno necesario para este proceso se obtiene en la ventilación pulmonar y se transporta a los diferentes tejidos y órganos a través de la sangre. A su vez, el dióxido de carbono generado por la actividad metabólica de las células es transportado de vuelta a los pulmones.

- El **sistema urinario**. La función más importante del sistema urinario es la regulación del equilibrio de agua y de los iones que han pasado a la sangre producto de la actividad metabólica de las células (*balance hidro-electrolítico*). Sirve para mantener la composición de los líquidos corporales perfecta y adecuada a las necesidades.
- El **aparato digestivo**. Su función es la de incorporar al organismo los nutrientes necesarios que se derivan de la ingesta de alimentos y la eliminación de los productos de desecho de la digestión. Estos nutrientes sirven para reparar las estructuras celulares y producir energía.
- El **sistema tegumentario**. Asegura la integridad física y mecánica.
- El **sistema músculo esquelético**. Su función principal es el movimiento del cuerpo, el mantenimiento de la postura y la respiración. También proporciona el soporte físico para los órganos internos y una protección para los mismos.
- El **sistema inmunitario**. Proporciona las defensas del organismo contra la acción de agentes externos (*patógenos*) a través de la eliminación de éstos y de las células enfermas o muertas del propio organismo.
- El **aparato cardiovascular**. La sangre "recoge" el oxígeno de los pulmones y los nutrientes en el intestino, los hace llegar hasta los distintos tejidos mientras "recoge" nuevamente los productos de desecho para expulsarlos en los diferentes órganos excretores. También juega un papel importante en la comunicación entre células y en la defensa del organismo y modula la función de otros órganos y sistemas a través de la interacción con el sistema endocrino.

1.5. MECANISMOS DE CONTROL

La homeostasis del cuerpo se ve continuamente alterada. Algunas de las alteraciones provienen del medio externo (*fuera del cuerpo*) en forma de agresiones físicas, como el calor intenso de un verano en una región tropical o la falta de oxígeno suficiente para una carrera. Otras alteraciones se originan en el medio ambiente interno (*dentro del cuerpo*); por ejemplo, la disminución de la glucemia al saltarse el desayuno.

Afortunadamente, el cuerpo posee muchos sistemas de regulación que pueden restaurar el equilibrio del medio interno. Por lo general, el sistema nervioso y el sistema endocrino en conjunto o de forma independiente toman las medidas correctivas necesarias.

1.5.1. CONTROL LOCAL

Las señales autocrinas y paracrinas son las responsables de los sistemas de control más simples. En el control local, una célula o tejido detecta un cambio en su entorno inmediato y responde. La respuesta se restringe a la región donde tuvo lugar el cambio, de allí el término de control local.

Un ejemplo de control local puede observarse cuando disminuye la concentración de oxígeno en un tejido. Las células que recubren los capilares sanguíneos que llevan sangre a esa área detectan la caída de oxígeno y responden secretando una señal paracrina. La molécula paracrina relaja el músculo de la pared del vaso, dilatándolo y permitiendo la llegada de más sangre y por ende más oxígeno al área.

1.5.2. CONTROL REFLEJO

En una vía de control refleja, la coordinación de la reacción se encuentra fuera del órgano que efectúa la respuesta. Utilizaremos el término reflejo para denominar cualquier vía de larga distancia que utilice el

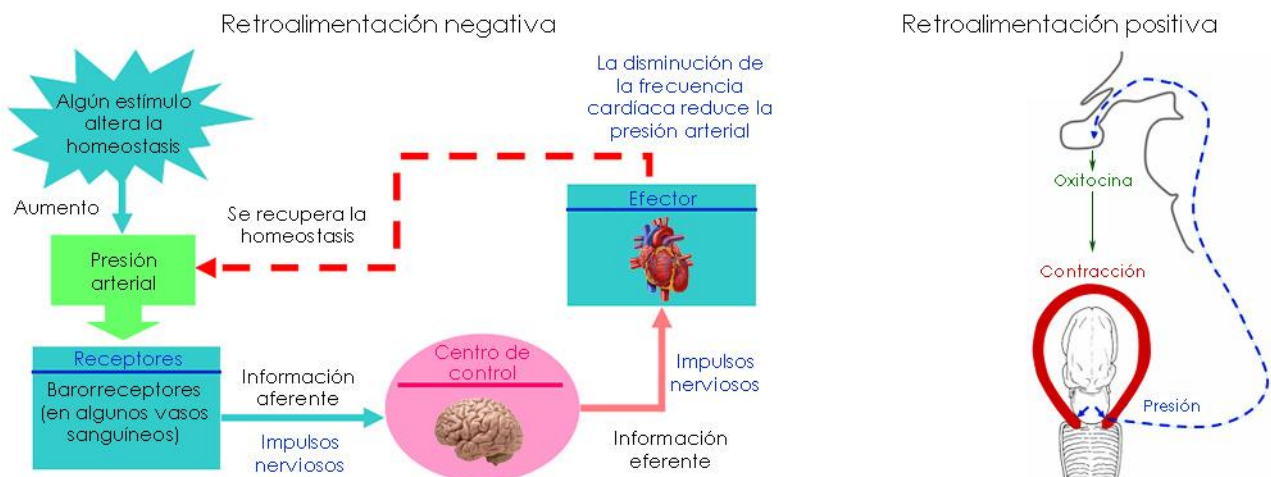
sistema nervioso, el sistema endocrino, o ambos, para percibir datos sobre un cambio, integrar la información y reaccionar de manera adecuada. Células distantes controlan la respuesta.

El control reflejo presenta los siguientes componentes:

- **Receptor:** es la estructura del cuerpo que observa cambios en una condición controlada y envía información a un centro regulador. Habitualmente, la señal de entrada se produce en la forma de impulsos nerviosos o señales químicas.
- **Centro de control o integrador:** (por ejemplo el cerebro) establece el rango de valores entre los cuales determinada condición controlada debe mantenerse, evalúa las señales de entrada que recibe de los receptores y genera señales de salida cuando son necesarias.
- **Efecto:** es la estructura del cuerpo que recibe las señales de salida del centro regulador y produce una respuesta o efecto que modifica la condición controlada.

Un grupo de receptores y efectores en comunicación con su centro regulador conforman un sistema de retroalimentación, que puede regular una condición controlada en el medio interno corporal. En estos sistemas, la respuesta del sistema devuelve información para modificar la condición controlada de alguna forma, ya sea revirtiéndola (*retroalimentación negativa*) o intensificándola (*retroalimentación positiva*).

- **Retroalimentación negativa:** Estos mecanismos revierten o atenúan un cambio en una condición controlada (*glucemia, presión, arterial, osmolaridad*). La acción se detiene cuando la condición controlada regresa a su estado inicial.
- **Retroalimentación positiva:** Estos mecanismos refuerzan o incrementan un cambio en una condición controlada (*diámetro cuello útero, coagulación*). La respuesta fortalece al estímulo: círculo vicioso. Se interrumpe por agentes externos al sistema.



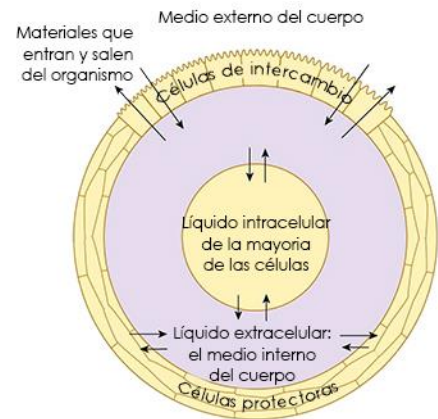
1.6. MEDIO INTERNO

Todas las células se encuentran bañadas por el mismo medio: el líquido extracelular (*LEC*). En el viaje todos los nutrientes que las células precisan, a él vierten sus productos de desecho, posee las características físicas necesarias y las condiciones indispensables para el correcto funcionamiento y supervivencia celular. Por estos motivos el LEC se le denomina el medio interno del cuerpo.

El correcto funcionamiento de las células depende del apropiado aporte de H₂O, O₂, glucosa, etc. y de que sean retirados los productos de desecho.

El medio interno constituye un sistema utilizado por los organismos pluricelulares para permitir el intercambio de sustancias entre el medio externo y las células.

Resulta fundamental que el medio interno mantenga unas condiciones lo más constante posible ya que, en caso contrario las células no funcionan adecuadamente. Sin embargo es importante precisar que el medio interno está sometido a un proceso continuo de renovación y mezcla, tanto con el medio externo como con el LIC (por los intercambios continuos que en ellos se realiza).



1.7. COMPARTIMENTOS DE LOS LÍQUIDOS DEL ORGANISMO

En fisiología, un **compartimento** se define como el espacio delimitado por membranas celulares. Según esta definición el total de los líquidos corporales se encuentra repartido en dos grandes compartimentos.

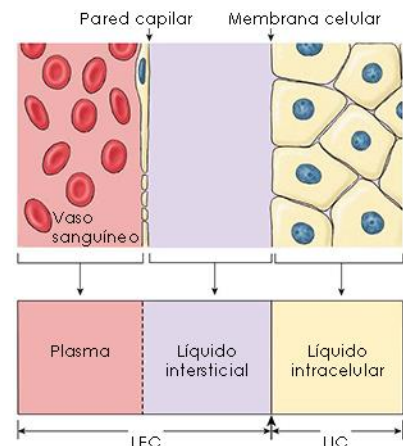
- 1) El compartimento del LIC
- 2) El compartimento del LEC

Ambos compartimentos quedan separados por la membrana celular.

El agua corporal total se encuentra repartida en el organismo entre el LIC y el LEC.

El **compartimento del líquido intracelular** está formado por el componente líquido del citoplasma de todas y cada una de las células, quedando el compartimento delimitado por la membrana plasmática de las mismas.

El **compartimento del líquido extracelular** es el conjunto de líquidos del organismo que se encuentran en todos los espacios situados fuera de las células, quedando delimitado por la cara externa de la membrana plasmática de las mismas. Incluye dos grandes subcompartimentos:



- El **líquido intersticial (LIS)**: es el que existe en el espacio que hay entre las células del tejido y actúa como intermediario en el transporte de sustancias entre el plasma y el LIC.
- El **plasma**: es la parte de la sangre que no contiene células.

Entre el plasma y el líquido intersticial se mantiene un intercambio (*equilibrio dinámico*) constante a través de la pared de los capilares de los tejidos (*su pared es muy permeable a casi todos los solutos del LEC salvo a las proteínas*). Ambos subcompartimentos del LEC tienen aproximadamente la misma composición, salvo en el caso de las proteínas que están más concentradas en el plasma.

La composición de los distintos subcompartimentos del LEC es muy similar al encontrarse en un proceso de renovación y mezcla continuo.

El medio interno en los organismos multicelulares es el líquido extracelular.

Las condiciones estables del medio interno son:

- Concentración óptima de gases, elementos nutritivos, iones y agua.

- pH óptimo.
- Temperatura óptima
- Osmolaridad

1.7.1. VOLUMEN

El agua es el componente principal del organismo y en ella se encuentran disueltos el resto de los elementos integrantes. En un adulto normal, la cantidad total de agua representa por término medio el 60% del peso corporal. Al total del agua del organismo se le denomina **agua corporal total (ACT)**.

El medio interno debe mantener un volumen adecuado de agua que depende de los ingresos y las pérdidas.

El agua que ingresa en el organismo procede de dos fuentes principales:

- La que se ingiere como líquidos o formando parte de los alimentos sólidos.
- La sintetizada en el organismo durante los procesos metabólicos celulares.

Las pérdidas de agua deben estar estrictamente ajustadas a los ingresos diarios del organismo para obtener un balance neto cero. Las fuentes diarias de pérdidas son:

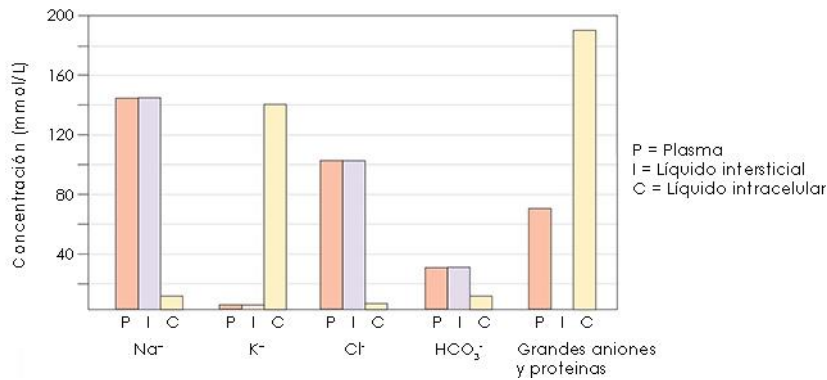
- Pérdidas hídricas insensibles. Ocurren sin que seamos conscientes de ellas y se producen de manera continua. Se deben a los fenómenos de convección (*piel*) y evaporación (*calentamiento del aire en los pulmones*).
- Pérdidas de agua por el sudor. Depende del ejercicio físico y de la temperatura ambiente, entre otros muchos factores.
- Pérdidas de agua con las heces. Normalmente se pierde solo una pequeña cantidad de agua con las heces.
- Pérdidas de agua por la orina. Las restantes pérdidas de agua se producen con la orina producida por los riñones.



1.7.2. COMPOSICIÓN

Los distintos compartimentos líquidos están compuestos por:

- El agua. Es el componente principal del organismo y en ella se encuentran disueltos el resto de los elementos integrantes.
- Resto de los elementos integrantes de los distintos compartimentos (*desequilibrio químico*).
 - El LEC contiene grandes cantidades de iones sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-), cantidades bastante elevadas de iones bicarbonato (HCO_3^-), pero solo pequeñas cantidades de iones potasio (K^+).
 - El LIC presenta un alto nivel de potasio (K^+) y grandes aniones y proteínas.



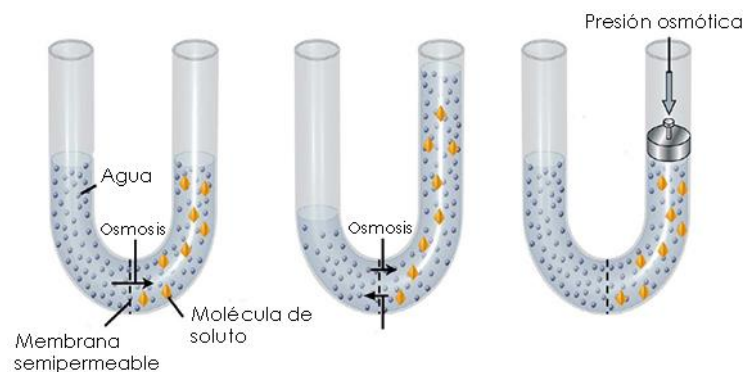
1.7.3. OSMOLARIDAD

El intercambio de agua y solutos entre los compartimentos del LIC y el LEC debe realizarse a través de la membrana plasmática de las células. La membrana celular es muy permeable al agua, que se desplaza por difusión rápidamente a través de la misma. Si los compartimentos separados por esta membrana tienen la misma osmolaridad, la cantidad de agua se difunde en ambas direcciones (*hacia el interior y hacia el exterior de la célula*), está equilibrada y no se produce difusión neta de agua. Como consecuencia de ello el volumen de la célula se mantiene constante.

La **osmolaridad** es el número de moléculas disueltas en 1 Kg de disolvente. Se expresa en mOsm/kg de agua.

El proceso de difusión de agua dependiente de un gradiente de concentración se denomina **ósmosis**. La ósmosis consiste en la difusión final de agua a través de una membrana semipermeable desde una zona de mayor dilución a otra con menor dilución.

La membrana celular tiene permeabilidad selectiva a solutos pero el agua se mueve libremente. Si es necesario se desplazará para diluir la solución más concentrada.



Un concepto derivado del fenómeno de la osmosis es el de **presión osmótica** que se define como el grado de presión que debe aplicarse a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable.

- A mayor concentración de solutos, mayor presión osmótica.
- El movimiento osmótico es más rápido que la difusión.

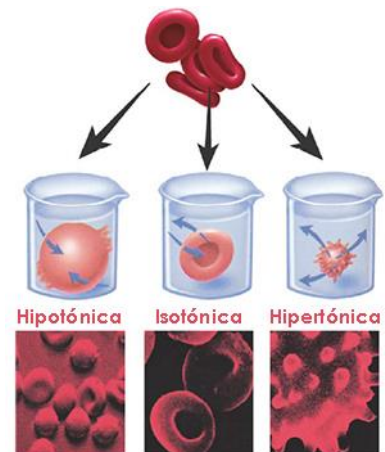
1.7.4. TONICIDAD DE UNA SOLUCIÓN

Un concepto muy relacionado con la osmolaridad es la **tonicidad**. A diferencia de la osmolaridad es un concepto relativo (*no tiene unidades*). La tonicidad de una solución se describe como el cambio de volumen que una célula en equilibrio sufre cuando se coloca en una solución.

Soluciones con una concentración de solutos osmóticamente activos iguales al plasma y presión osmótica similar son **isotónicas** respecto al plasma. El cloruro sódico diluido al 0,9% es una solución isotónica importante en la práctica clínica. Una célula en dicha solución no modifica su volumen, ya que no se produce difusión neta de agua.

Las soluciones con una concentración de solutos osmóticamente activos inferior al plasma y presión osmótica menor se denominan **hipotónicas**. Si se sitúa una célula en una solución hipotónica, el agua penetrará en ella haciendo que se hinche y explote (*hemólisis*).

Las soluciones con una concentración de solutos osmóticamente activos superior al plasma y una presión osmótica mayor se llaman **hipertónicas**. Si se sitúa una célula en una solución hipertónica, difundirá agua de la célula hacia el espacio extracelular. Disminuye el volumen celular (*la célula se arruga*).

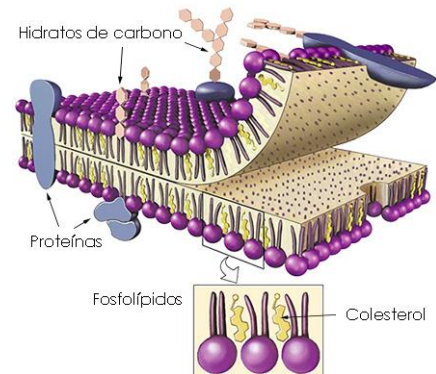


TEMA 2. FISIOLÓGÍA DE LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS

2.1. MEMBRANA CELULAR

La membrana celular es una barrera de permeabilidad selectiva frente a determinadas sustancias. Está formada por lípidos (*fosfolípidos mayoritariamente*), proteínas e hidratos de carbono. La proporción entre los lípidos y las proteínas varía muchísimo dependiendo de la célula de la que se trate y de su función.

La organización estructural de los lípidos y las proteínas en la membrana celular se describió por Singer y Nicolson en 1972 en su modelo de mosaico fluido. En este modelo de organización todos los elementos de la membrana disponen de capacidad de movimiento.

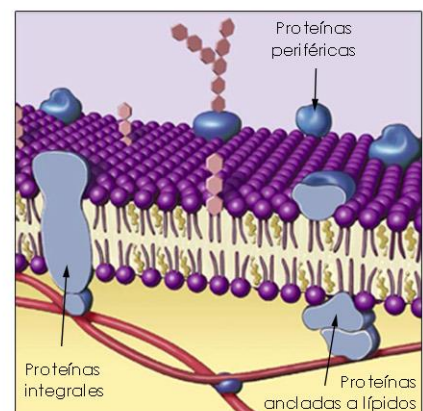
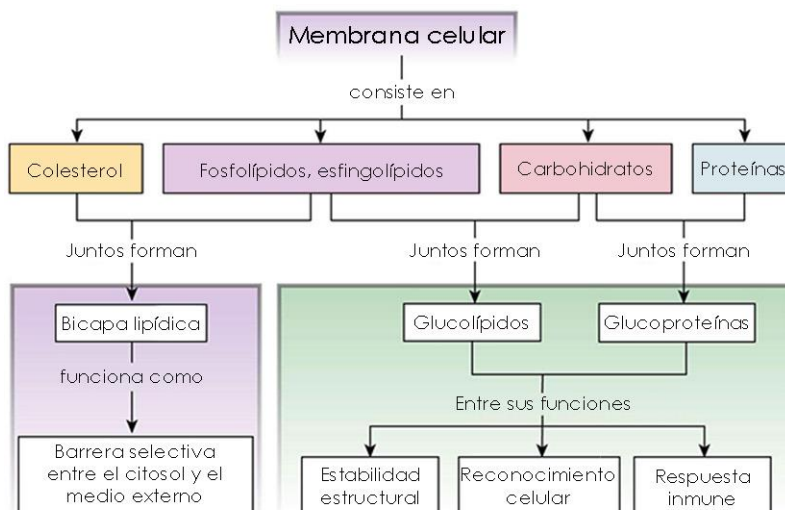


2.2. COMPOSICIÓN MOLECULAR DE LA MEMBRANA CELULAR

La membrana como tal está constituida por una bicapa de lípidos donde la parte hidrofóbica de cada una de las capas queda enfrentada y la zona hidrofílica se orienta hacia el entorno acuoso.

Las proteínas de la membrana pueden ser proteínas integrales o intrínsecas de la membrana o ser proteínas periféricas o extrínsecas. Las primeras se insertan en la bicapa lipídica y son parte integrante de ésta, las periféricas se unen a los extremos polares de los fosfolípidos o a las proteínas integrantes de la membrana.

Los carbohidratos a su vez, se adhieren a los lípidos y a las proteínas de la membrana en la superficie extracelular.



2.3. FUNCIONES DE LA MEMBRANA CELULAR

Las funciones generales de la membrana celular pueden resumirse del siguiente modo:

- **Aislamiento físico:** la membrana celular representa una barrera física entre el citoplasma y el exterior celular.
- **Movimiento de las sustancias dentro y fuera de la célula:** la membrana celular regula la entrada de iones, y de nutrientes así como la salida de productos de desecho y de secreción.
- **Comunicación entre la célula y su entorno:** la membrana celular es la responsable de detectar las señales procedentes del exterior relacionadas con el correcto funcionamiento de las células.
- **Comunicación intercelular:** mediante el establecimiento de uniones especializadas entre las membranas de células adyacentes.
- **Transmisión de señales:** la detección y transmisión de señales de tipo eléctrico en las células excitables tiene lugar a través de la membrana mediante receptores para hormonas, neurotransmisores y otras moléculas, así como canales iónicos.
- **Soporte estructural:** muchas proteínas intracelulares que forman parte del citoesqueleto se asocian con proteínas de la membrana celular para mantener la forma de la célula.

2.4. MECANISMOS DE TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

El transporte de sustancias a través de la membrana plasmática es vital para la célula.

Las sustancias suelen desplazarse a través de la membrana celular mediante procesos que pueden clasificarse como activos o pasivos, según requieran o no energía celular. En los **procesos pasivos** una sustancia se mueve siguiendo su gradiente de concentración o su gradiente eléctrico y atraviesa la membrana utilizando solo su propia energía cinética. La célula no aporta energía. En los **procesos activos**, la energía celular se utiliza para impulsar a la sustancia en contra de su gradiente de concentración o su gradiente eléctrico. La energía celular se emplea habitualmente en forma de ATP.

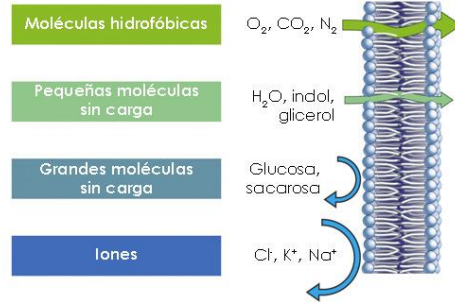
Algunas sustancias simplemente atraviesan la bicapa lipídica o los canales de membrana usando su propia energía cinética (*energía de movimiento*). La energía cinética es intrínseca de las partículas en movimiento. Algunos procesos que dependen de la energía cinética son la difusión y la ósmosis. Otras sustancias deben unirse a una proteína transportadora específica para atravesar la membrana celular, como en la **difusión facilitada** y el **transporte activo**. Aún más, otras sustancias pasan a través de la membrana celular dentro de sacos esféricos denominados vesículas que se forman a partir de una membrana preexistente. Algunos ejemplos son la **endocitosis** y la **exocitosis**.

2.4.1. DIFUSIÓN SIMPLE

Un ejemplo de transporte pasivo es la **difusión simple**. La difusión simple puede definirse como el movimiento de las moléculas desde un área donde están más concentradas hacia un área donde están menos concentradas. Un típico ejemplo de difusión simple es el olor que se extiende por una habitación una vez que se ha abierto un frasco de colonia. Como regla general los lípidos, los esteroides y moléculas lipofílicas (*solubles en lípidos*) de pequeño tamaño, pueden atravesar la membrana por difusión simple.

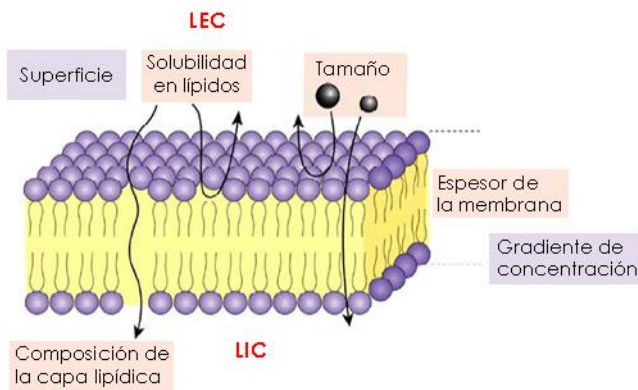


El tamaño y la carga afecta a la tasa de difusión a través de la membrana



Ley de Fick

Es la relación matemática de los factores que afectan a la velocidad de difusión simple de moléculas a través de una membrana.



Factores que afectan a la velocidad de difusión:

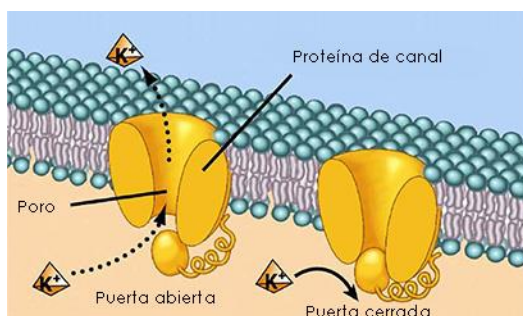
- Solubilidad en lípidos
- Tamaño molecular
- Espesor de la membrana
- Gradiente de concentración
- Superficie de la membrana
- Composición de la bicapa

$$V \text{ difusión} = \frac{\text{Superficie} * \text{Gradiente} * \text{Permeabilidad}}{\text{Espesor de la membrana}}$$

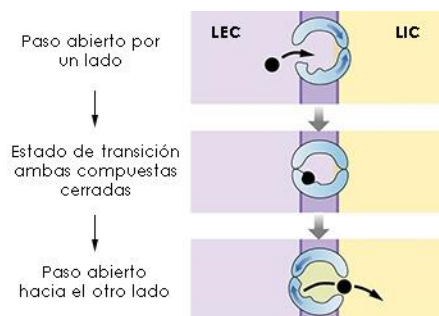
$$\text{Permeabilidad} = \frac{\text{Solubilidad en lípidos}}{\text{Tamaño molecular}}$$

2.4.2. DIFUSIÓN FACILITADA

Existe otro tipo de transporte pasivo que es la **difusión facilitada**. La difusión facilitada es el paso de sustancias (*generalmente insolubles en lípidos*) que se produce a favor de gradiente con la ayuda de proteínas de transporte, cuyo cambio de configuración espacial no requiere gasto de energía. La glucosa y los aminoácidos se transportan de este modo.



Canales proteicos: poros



Proteínas transportadoras: Cambios conformación

2.4.3. TRANSPORTE ACTIVO

El transporte activo es un proceso que moviliza moléculas en contra de su gradiente de concentración; esto es, desde áreas de menor concentración hacia áreas de mayor concentración. Utiliza proteínas transportadoras. El movimiento de las moléculas en contra de su gradiente de concentración requiere el aporte de energía externa (por ejemplo, de ATP). El transporte activo puede dividirse en dos tipos:

- **Transporte activo primario (directo)**, la energía para empujar a las moléculas en contra de su gradiente de concentración proviene directamente del ATP.
- **Transporte activo secundario (indirecto)**, utiliza la energía potencial almacenada en el gradiente de concentración de una molécula para desplazar a otras en contra de su gradiente de concentración.

Las moléculas cotransportadas pueden desplazarse en la misma dirección a través de la membrana (*simporte*) o en direcciones opuestas (*antiporte*).

El transporte mediado por proteínas transportadoras exhibe especificidad, competencia y saturación.

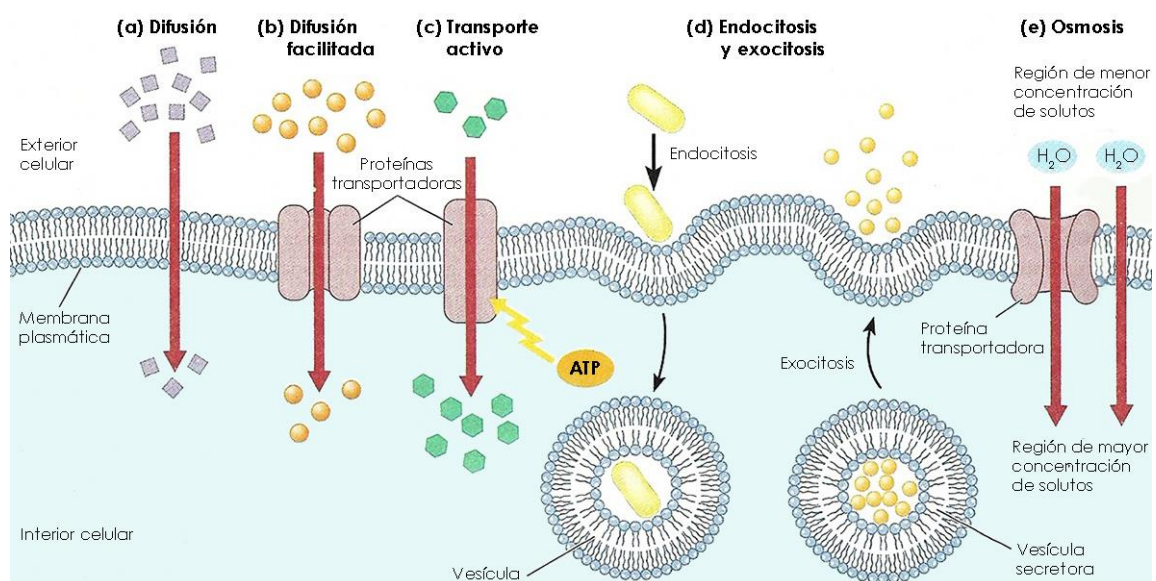
- **Especificidad:** capacidad de un transportador de movilizar sólo una molécula o sólo un grupo de moléculas estrechamente relacionadas.
- **Competencia:** un transportador puede movilizar varios miembros de un grupo relacionado de sustratos, pero dichos sustratos competirán entre sí por los sitios de unión del transportador.
- **Saturación:** la velocidad de transporte de un sustrato depende tanto de la concentración del sustrato.

Transporte activo de macromoléculas

Los procesos de **endocitosis** dan lugar a la entrada de sustancias en la célula; las sustancias son englobadas por la membrana plasmática y encerradas en vesículas que pasan al interior celular. Podemos señalar dos tipos de endocitosis:

- **Fagocitosis:** se ingieren grandes partículas sólidas, microorganismos o restos celulares ("La célula come"). La ingestión de partículas sólidas da lugar a grandes vesículas o vacuolas fagocíticas, que se fusionan con los lisosomas, dando lugar a fagolisosomas en los que se realiza la digestión.
- **Pinocitosis:** Las sustancias ingeridas son líquidos o disoluciones ("La célula bebe"). La pinocitosis da lugar a la formación de pequeñas vesículas conteniendo las sustancias ingeridas.

En el proceso de **exocitosis**, la fusión de vesículas con la membrana plasmática da lugar a que salgan de la célula las sustancias que estaban contenidas en las vesículas.

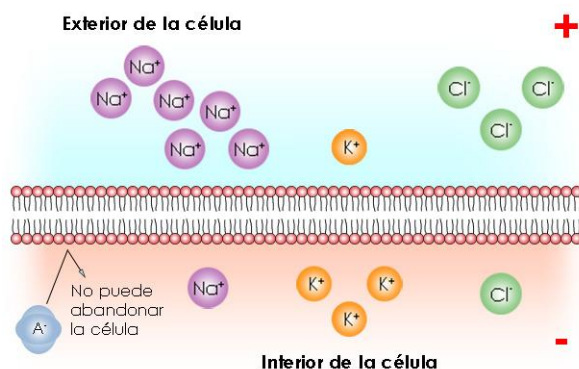


TEMA 3. FISIOLÓGÍA DE LAS CÉLULAS EXCITABLES

3.1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPOSO

Muchos de los solutos del organismo son iones y por consiguiente portan una carga eléctrica neta. El potasio (K^+) es el principal catión dentro de las células y el sodio (Na^+) domina en el líquido extracelular. Los iones cloruro (Cl^-) permanecen en su mayoría junto con el Na^+ en el líquido extracelular, mientras que los iones fosfato y las proteínas con carga negativa son los aniones principales del líquido intracelular.

Sin embargo, el compartimento intracelular no es eléctricamente neutro: existen algunos aniones proteicos dentro de las células que no tienen cationes que los neutralicen, lo que otorga a las células una carga neta negativa. Al mismo tiempo, el compartimento extracelular tiene una carga neta positiva: algunos cationes del líquido extracelular no tienen aniones que los neutralicen. Una consecuencia de esta distribución dispar de iones es que los compartimentos intracelular y extracelular no están en equilibrio eléctrico. En lugar de ello, los dos compartimentos se encuentran en un estado de **desequilibrio eléctrico**.



El interior y exterior de la célula se encuentran en equilibrio osmótico pero en **desequilibrio químico y eléctrico**

Existe un ligero exceso de cationes (+) en el exterior de la membrana y un ligero exceso de aniones (-) en el interior

La diferencia de carga (Q) eléctrica o potencial a través de la membrana celular se denomina **potencial de membrana en reposo**

3.2. POTENCIAL DE EQUILIBRIO DE K^+

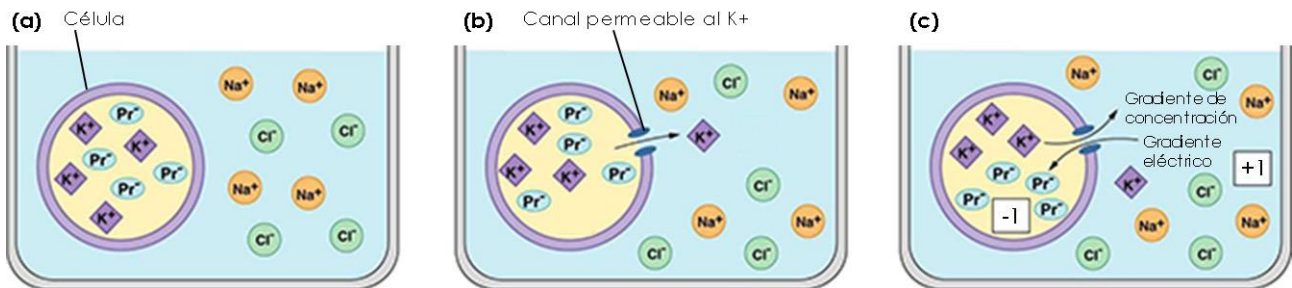
Las células reales no son completamente impermeables a todos los iones. Tienen canales abiertos y proteínas transportadoras que permiten que los iones se desplacen entre el citoplasma y el líquido extracelular. Puede utilizarse una célula artificial diferente para mostrar cómo surge el potencial de membrana en reposo de una célula viva típica.

- La célula tiene una membrana impermeable a los iones. Contiene K^+ y grandes proteínas con carga negativa, que se representan como Pr^- . La célula se coloca en una solución de $Na^+ Cl^-$. Tanto la célula como la solución son eléctricamente neutras y el sistema está en equilibrio eléctrico. Sin embargo, no se encuentra en equilibrio químico. Existen gradientes de concentración para los cuatro tipos de iones en el sistema, y todos difundirán a favor de sus respectivos gradientes de concentración si pudieran atravesar la membrana celular.
- Un canal permeable al K^+ se inserta en la membrana, haciéndola permeable sólo al K^+ . Puesto que inicialmente no existe K^+ en el líquido extracelular, parte del K^+ se escapara hacia afuera de la célula, moviéndose a favor de su gradiente de concentración. Cuando el K^+ abandona la célula, las proteínas cargadas negativamente, Pr^- , son incapaces de seguirlo porque la membrana celular no es permeable a ellas. Las proteínas generan gradualmente una carga negativa dentro de la célula, a medida que más K^+ difunde hacia su exterior.

Si la única fuerza que actúa sobre el K^+ fuera el gradiente de concentración, el K^+ abandonaría la célula hasta que la concentración de K^+ dentro de la célula igualara la concentración de K^+ fuera de ella. Sin embargo, la pérdida de iones positivos de la célula genera un gradiente eléctrico. Puesto que

las cargas opuestas se atraen entre sí, las Pr⁻ negativas dentro de la célula tratan de arrastrar al K⁺ nuevamente hacia el interior de la célula.

- c) En un momento durante este proceso, la fuerza eléctrica que atrae al K⁺ se vuelve igual en magnitud al gradiente de concentración químico que impulsa el K⁺ hacia afuera de la célula. En dicho punto se detiene el movimiento neto de K⁺ a través de la membrana.



En una célula permeable sólo a un ion, como la célula recién descrita, el potencial de membrana que se opone exactamente al gradiente de concentración del ion se conoce como **potencial de equilibrio**.

El potencial de equilibrio para el potasio es -90 mV.

El potencial de equilibrio para cualquier ión puede calcularse utilizando la **ecuación de Nernst**:

$$E = \frac{-2,3RT}{zF} \log_0 \frac{[C_i]}{[C_e]}$$

E = potencial de equilibrio

-2,3 RT/F = constante

z = carga eléctrica del ión.

C_i = concentración intracelular

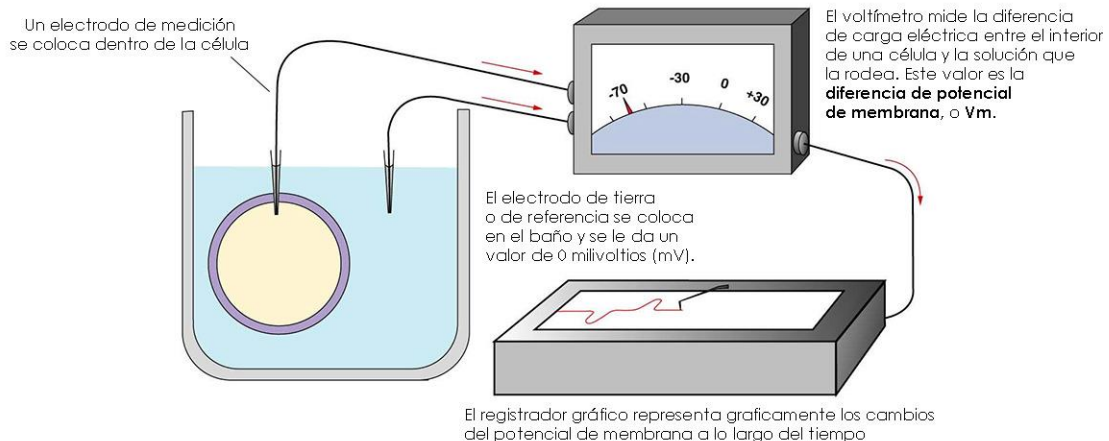
C_e = concentración extracelular

Ejemplo: E_{K+} = -90 mV

En realidad, las células vivas no son permeables sólo a un ion. Si una célula es permeable a varios iones, no puede utilizarse la ecuación de Nernst para calcular el potencial de membrana. En su lugar, debe emplearse una ecuación que se denomina **ecuación de Goldman-Hodkin-Katz** y que considera los gradientes de concentración de los iones permeables y la permeabilidad relativa de la célula a cada ión.

$$E_m = \frac{g_{K^+}}{g_T} E_{K^+} + \frac{g_{Na^+}}{g_T} E_{Na^+} + \frac{g_{Cl^-}}{g_T} E_{Cl^-} + \frac{g_{Ca^{2+}}}{g_T} E_{Ca^{2+}}$$

Medida del potencial de reposo



3.3. FACTORES QUE GENERAN EL POTENCIAL DE LA MEMBRANA EN REPOSO

Existen factores que contribuyen al potencial de membrana en reposo, uno de ellos es la **diferente distribución de los iones** a través de la membrana:

- A^- (aniones-proteínas) - sólo dentro.
- Na^+ (iones sodio) – predominan fuera.
- K^+ (iones potasio) – predominan dentro.
- Cl^- (iones cloruro) – predominan fuera.

Otro factor es la **permeabilidad selectiva** de la membrana plasmática.

- Baja permeabilidad a aniones orgánicos.
- Permeabilidad a cationes:
 - Permeabilidad mayor al K^+ que al Na^+
 - Baja permeabilidad al Ca^{+2}

La **bomba sodio potasio** es responsable indirectamente del potencial de membrana en reposo ya que contribuye a mantener los gradientes iónicos para el Na^+ y el K^+ de los cuales depende el potencial de equilibrio. Durante cada ciclo de la bomba 2 K^+ se introducen en la célula y se intercambia por 3 Na^+ , que se mueven hacia el exterior. La negatividad en el interior de las células se favorece al extraer tres cargas positivas e introducir dos cargas positivas.

3.4. CAMBIOS EN EL POTENCIAL DE MEMBRANA

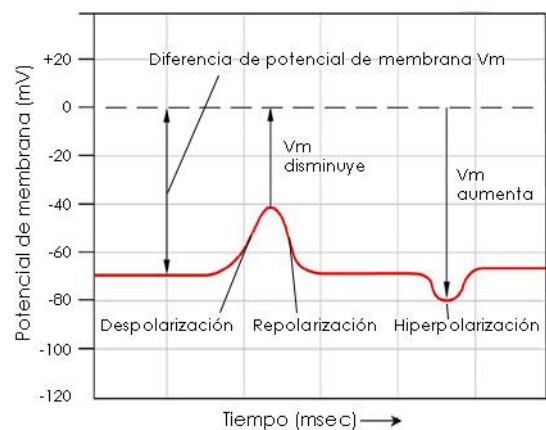
En las células excitables, se producen movimientos de iones a través de canales en la membrana en respuesta a estímulos. Estos cambios en la permeabilidad de la membrana a los iones, modifican el potencial de membrana. Como consecuencia de estos cambios de potencial, la membrana se despolariza o se hiperpolariza.

En el siguiente gráfico se muestra un registro del potencial de membrana en función del tiempo.

El potencial de membrana (V_m) comienza en un valor estable de reposo de -70 mV. Cuando el trazo se desplaza hacia arriba (se vuelve *menos negativo*), la diferencia de potencial entre el interior de la célula y el exterior (*fijado en 0 mV*) disminuye, y se dice que la célula se ha **despolarizado**.

El regreso al potencial de membrana en reposo se denomina **repolarización**.

Si el potencial de reposo se aleja de 0 mV, el potencial de membrana se torna más negativo, la diferencia de potencial ha aumentado y la célula se ha **hiperpolarizado**.



3.5. SEÑALES ELÉCTRICAS EN LAS NEURONAS

La propiedad del nervio y las células musculares que los caracteriza como tejidos excitables es su capacidad para propagar señales eléctricas rápidamente en respuesta a un estímulo. Sabemos que muchos otros tipos celulares generan señales eléctricas para iniciar procesos intracelulares, pero la capacidad del

nervio y de la célula nerviosa para enviar una señal eléctrica constante a larga distancia es característica de la señalización eléctrica en estos tejidos.

Los **cambios en la permeabilidad de los canales crean señales eléctricas**. Cuando los canales iónicos se abren, los iones pueden entrar en la célula o salir de ella. El flujo neto de iones a través de la membrana despolariza o hiperpolariza a la célula, lo que crea una señal eléctrica.

Las señales eléctricas pueden clasificarse en dos tipos básicos: potenciales graduados y potenciales de acción.

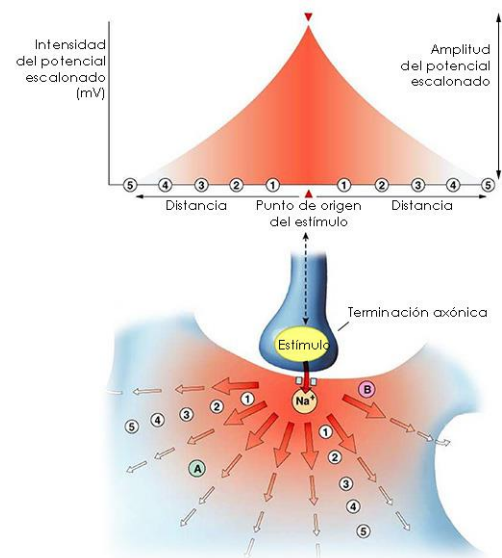
3.5.1. POTENCIALES GRADUADOS

Los **potenciales graduados o escalonados** en las neuronas son despolarizaciones o hiperpolarizaciones que ocurren en las dendritas y el cuerpo celular o, más a menudo, cerca de las terminaciones axónicas. Estos cambios de potencial de membrana se denominan "escalonados" porque su tamaño o amplitud es directamente proporcional a la intensidad del estímulo desencadenante. Un estímulo grande produce un potencial escalonado intenso y un estímulo pequeño conduce a un potencial escalonado débil.

Los potenciales escalonados discurren en cortas distancias y pierden intensidad a medida que viajan a través de la célula. Se utilizan para la comunicación a corta distancia.

Los potenciales escalonados que son suficientemente intensos alcanzan la región de la neurona conocida como la zona gatillo. En las neuronas eferentes e interneuronas, la zona gatillo es el cono axónico y la primera porción del axón, región conocida como segmento inicial.

Si los potenciales escalonados que alcanzan la zona gatillo despolarizan la membrana hasta el voltaje umbral se inicia un potencial de acción. Si la despolarización no alcanza el umbral, el potencial escalonado simplemente desaparece a medida que se mueve por el axón.



3.5.2. POTENCIALES DE ACCIÓN

Los **potenciales de acción** son despolarizaciones grandes y de intensidad constante que pueden viajar largas distancias sin perder intensidad, seguidas de repolarización. Difieren de los potenciales graduados en que no disminuyen en intensidad a medida que viajan a través de la neurona. La capacidad de una neurona para responder a un estímulo y disparar un potencial de acción se denomina excitabilidad de la célula.

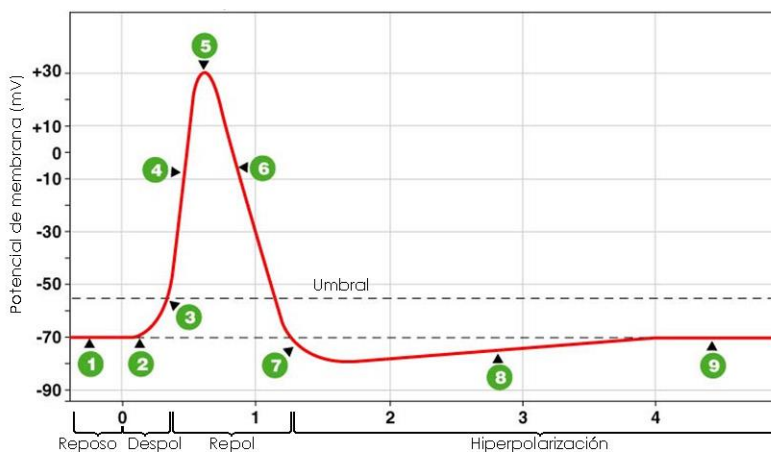
La intensidad del potencial graduado que inicia el potencial de acción no tiene ninguna influencia sobre la amplitud del potencial de acción. Los potenciales de acción a veces se denominan **todo o nada** porque ocurren como una despolarización máxima (si el estímulo alcanza el umbral) o no ocurren en absoluto (si el estímulo se encuentra por debajo del umbral). Un potencial de acción medido en el extremo distal del axón es idéntico al potencial de acción que comenzó en la zona gatillo. Esta propiedad es esencial para la transmisión de señales en largas distancias, como desde el pulpejo de un dedo hasta la médula espinal.

Una vez que se inicia el potencial de acción existen periodos de tiempo en los que la membrana de la neurona no puede volver a generar otro potencial de acción (**periodo refractario absoluto**) o se requiere un mayor estímulo para producirlo en el que disparó el primer potencial de acción (**periodo refractario relativo**).

Los potenciales de acción son el mecanismo básico para transmitir información en el sistema nervioso y en todos los tipos de músculo.

CAMBIOS DE VOLTAJE Y BASES IÓNICAS DE UN POTENCIAL DE ACCIÓN

Los potenciales de acción se producen cuando se abren los canales iónicos regulados por voltaje, lo que altera la permeabilidad de la membrana al Na^+ y al K^+ . La siguiente figura muestra los cambios de voltaje y de permeabilidad a los iones que ocurren en una sección de la membrana durante un potencial de acción. El gráfico puede dividirse en tres fases: la fase de crecimiento del potencial de acción, la fase de caída y la fase de hiperpolarización.



- 1 Potencial de membrana en reposo
- 2 Estímulo despolarizante
- 3 La membrana se despolariza hasta el umbral. Los canales de Na^+ regulados por voltaje se abren y entra Na^+ a la célula. Los canales de K^+ regulados por voltaje comienzan a abrirse lentamente.
- 4 La entrada rápida de Na^+ despolariza la célula.
- 5 Los canales de Na^+ se cierran y los canales de K^+ más lentos se abren.
- 6 El K^+ se mueve desde la célula hacia el líquido extracelular.
- 7 Los canales de K^+ permanecen abiertos y K^+ adicional abandona la célula, hiperpolarizándola.
- 8 Los canales de K^+ regulados por voltaje se cierran, sale menos K^+ de la célula.
- 9 La célula retorna a la permeabilidad iónica en reposo y el potencial de membrana en reposo.

La fase de crecimiento del potencial de acción se debe a un aumento transitorio súbito en la permeabilidad de la célula al Na^+ . El potencial de acción comienza cuando un potencial escalonado alcanza la zona gatillo y se despolariza la membrana hasta el umbral. A medida que la célula se despolariza, se abren los canales de Na^+ regulados por voltaje, lo que hace que la membrana sea mucho más permeable al Na^+ . Como el Na^+ está más concentrado fuera de la célula y dado que el potencial de membrana negativo en el interior de la célula atrae estos iones con carga positiva, el Na^+ fluye hacia el interior de la célula.

El agregado de una carga positiva al líquido intracelular despolariza la membrana celular, y la vuelve progresivamente más positiva (lo que se muestra en la fase de crecimiento abrupto del gráfico). En el tercio superior de la fase de crecimiento, el potencial de membrana ha invertido la polaridad; es decir, el interior de la célula se ha vuelto más positivo que el exterior. Esta inversión está representada en el gráfico por la sobreestimulación (*overshoot*), la porción del potencial de acción por encima de 0 mV.

Tan pronto como el potencial de membrana de la célula se vuelve positivo, la fuerza impulsora eléctrica que mueve el Na^+ hacia el interior de la célula desaparece. Sin embargo, el gradiente de concentración de Na^+ permanece, de modo que el Na^+ sigue entrando en la célula. Como la permeabilidad al Na^+ sigue siendo alta, el potencial de membrana intenta alcanzar el potencial de equilibrio del Na^+ (E_{Na}), de 60 mV. Sin embargo antes de alcanzarlo se cierran los canales de Na^+ en el axón. La permeabilidad al sodio disminuye drásticamente y el potencial de acción alcanza un pico a +30 mV.

La fase de caída del potencial de acción se corresponde con un aumento de la permeabilidad del K^+ . Los canales de K^+ regulados por voltaje, al igual de Na^+ , comienzan a abrirse en respuesta a la despolarización. Pero las compuertas de los canales de K^+ se abren de forma mucho más lenta y el pico de la permeabilidad al K^+ se produce más tarde que el de la permeabilidad al Na^+ . Para el momento en que se abren los canales de K^+ , el potencial de membrana de la célula ha alcanzado +30 mV debido a la entrada de Na^+ a través de los canales de Na^+ , que se abren más rápido.

Cuando los canales de Na^+ se cierran en el pico del potencial de acción, los canales de K^+ acaban de abrirse, lo que torna a la membrana muy permeable al K^+ . Con el potencial de membrana positivo, los gradientes de concentración y eléctrico para el K^+ favorecen el movimiento de K^+ hacia afuera de la célula. A medida que el K^+ sale de la célula, el potencial de membrana se torna rápidamente más negativo, por el cual el potencial de acción entra en la fase de caída y se aproxima al potencial de reposo.

Cuando el potencial de membrana cae alcanza -70 mV, los canales de K^+ regulados por voltaje aún no se han cerrado. El potasio sigue abandonando la célula a través de los canales regulados por voltaje y los canales permeables de K^+ , y la membrana se hiperpolariza aproximándose E_k de -90 mV. Esta **poshiperpolarización** también se denomina subestimulación (*undershoot*). Una vez que los canales de K^+ regulados por voltaje lentamente finalmente se cierran, se detiene algo de la salida de K^+ . La retención de K^+ y el pasaje de Na^+ hacia el interior restauran el potencial de membrana de -70 mV, valor que refleja la permeabilidad en reposo de la célula al K^+ , el Cl^- y el Na^+ .

Para resumir, el potencial de acción es un cambio en el potencial de membrana que ocurre cuando se abren los canales iónicos regulados por voltaje de la membrana, lo que aumenta la permeabilidad de la célula, primero al Na^+ y luego al K^+ . El movimiento hacia el interior de la célula de Na^+ despolariza la célula. Esta despolarización es seguida por el movimiento hacia el exterior de la célula de K^+ , que reestablece el potencial de membrana en reposo de la célula.

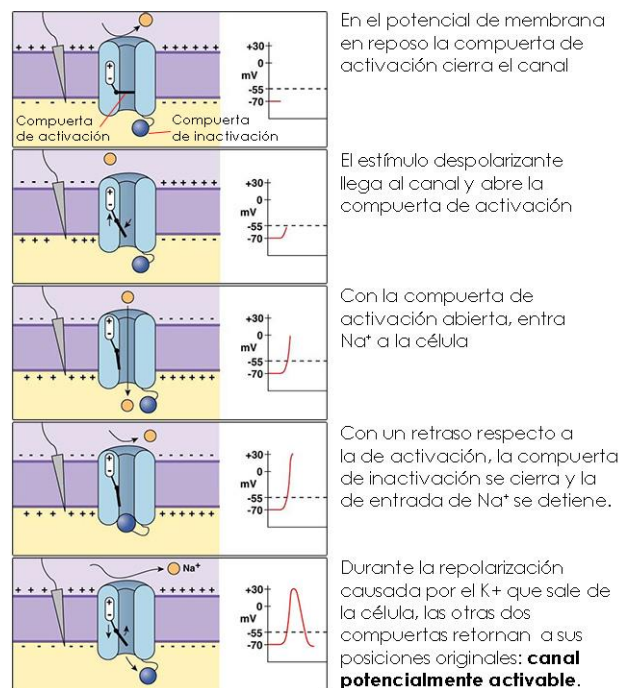
CANALES IÓNICOS EN EL POTENCIAL DE ACCIÓN NERVIOSO

Podemos encontrar dos tipos de canales:

Canales no activables. Están siempre abiertos, mantienen el potencial de membrana de reposo.

Canales activables:

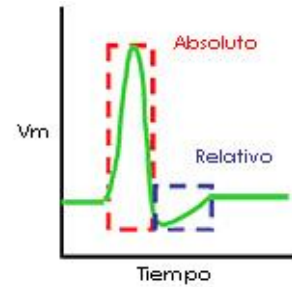
- Dependientes de ligando.
- Dependientes de voltaje:
 - **Canales de Na^+ dependientes de voltaje.** son unas proteínas de membrana que tienen dos compuertas sensibles a voltaje, una se denomina compuerta de activación y la otra es la compuerta de inactivación.
 - **Canales de K^+ dependientes de voltaje.** a diferencia de los anteriores, estos son proteínas transmembrana con una única compuerta de activación.



PERIODO REFRACTARIO

La doble compuerta de los canales de Na^+ desempeña un papel importante en el fenómeno conocido como periodo refractario. Una vez ha comenzado el potencial de acción, no se puede disparar un segundo potencial de acción durante un tiempo, no importa cuán grande sea el estímulo. Este periodo se denomina **periodo refractario absoluto**, y representa el tiempo necesario para que las compuertas del canal de Na^+ retornen a sus posiciones de reposo. El periodo refractario absoluto asegura que no ocurra un segundo potencial de acción antes de que haya terminado el primero. Los potenciales de acción no se pueden superponer y no pueden viajar de forma retrógrada debido a sus periodos refractarios.

Al periodo refractario absoluto le sigue el **periodo refractario relativo**. Durante el periodo refractario relativo, se necesita un potencial escalonado despolarizante más intenso que el normal para superar el umbral y el potencial de acción será más pequeño que uno normal. Durante este periodo, muchas compuertas de los canales de Na⁺, pero no todas ellas, han retornado a sus posiciones originales y una despolarización adecuada las abrirá. Aquellos canales de Na⁺ que no han retornado totalmente a su posición de reposo pueden ser abiertos por un potencial escalonado mayor de lo normal.



3.6. NEURONAS

Las neuronas son células con formas únicas y prolongaciones largas que se extienden hacia afuera desde el cuerpo celular. En general, estas prolongaciones se clasifican como dendritas (*que reciben señales entrantes*) o axones (*que transportan información saliente*). La forma, el número y la longitud de los axones y las dendritas varían de una neurona a la siguiente, pero estas estructuras constituyen una característica esencial que permite a las neuronas comunicarse entre ellas y con otras células.

- **Soma o cuerpo celular.** Es el centro de control de la neurona, contiene el núcleo y los orgánulos.
- **Dendritas,** son prolongaciones finas, ramificadas que reciben señales aferentes.
- **Axones,** son prolongaciones a partir del cono axónico de longitud variable. Su función es la de transmitir señales eferentes hacia el punto diana.

La región donde una terminación axónica se reúne con su célula diana se llama **sinapsis**.

3.6.1. ÁREAS FUNCIONALES

Zona de entrada de señal: (1)

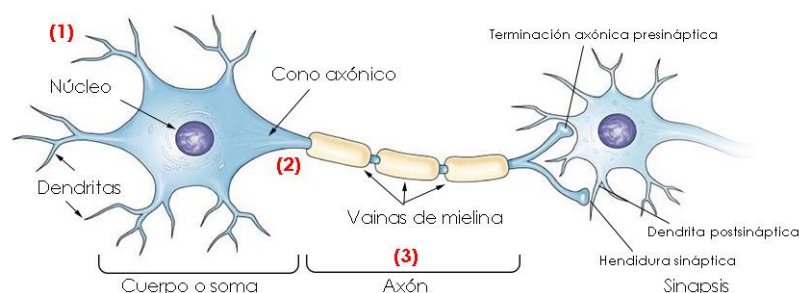
- Dendritas y soma.
- Contiene canales ligando dependientes y escasos canales voltajes dependientes.
- Área donde se dan los potenciales postsinápticos (*escalonados*).

Zona de integración (*cono o promontorio axónico*): (2)

- Zona gatillo; punto de toma de decisiones.
- Existe una alta concentración de canales voltaje dependientes.
- La suma todos los potenciales postsinápticos y crea (o no) potenciales de acción (PA).

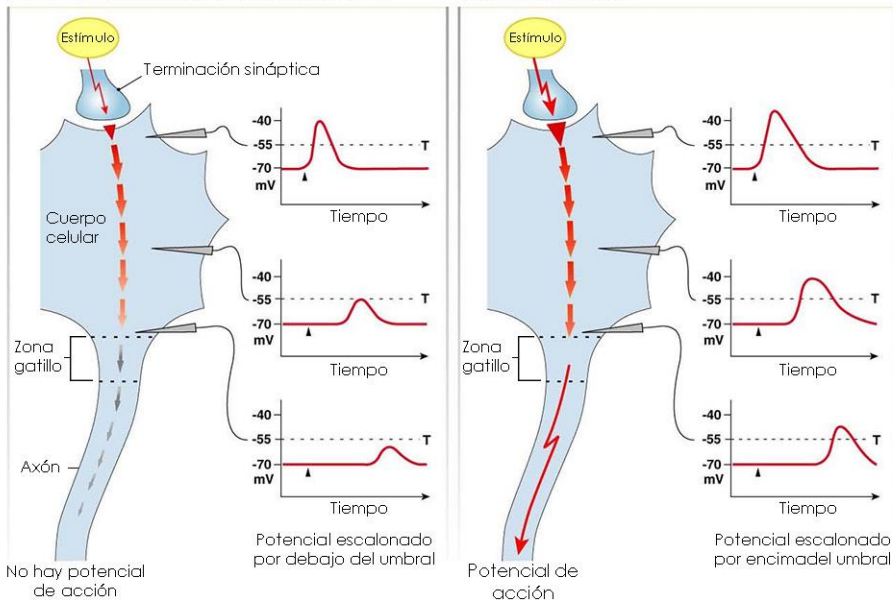
Zona de conducción (*axón*): (3)

- Algunos canales voltaje dependientes.
- Especializada en propagación de PA.



(a) Un potencial escalonado comienza por encima del umbral (T) en su punto de inicio, pero disminuye en intensidad a medida que recorre el cuerpo celular. En la zona gatillo se encuentra por debajo del umbral y por lo tanto no inicia un potencial de acción.

(b) Un estímulo más intenso en el mismo punto sobre el cuerpo celular crea un potencial escalonado que sigue estando por encima del umbral para el momento en que alcanza la zona gatillo, de modo que produce un potencial de acción.

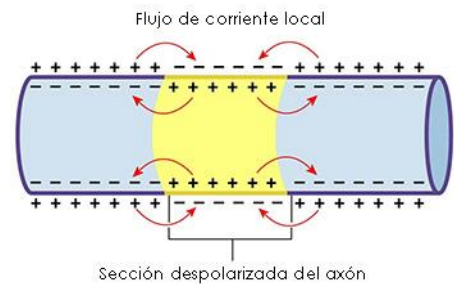


3.7. PROPAGACIÓN DEL POTENCIAL DE ACCIÓN

Los potenciales de acción son conducidos desde la zona gatillo hasta la terminación axónica.

El movimiento de alta velocidad de un potencial de acción a través del axón se denomina **conducción**. La conducción representa el flujo de energía eléctrica desde una parte de la célula a otra en un proceso que repone constantemente la energía perdida. Por esto, un potencial de acción no pierde intensidad en todo su trayecto como ocurre al potencial escalonado. Para ver por qué el potencial de acción que alcanza el extremo de un axón es idéntico al potencial de acción que comenzó en la zona gatillo debemos examinar la conducción a nivel celular.

La despolarización de una sección del axón hace que los iones positivos se propaguen a través del citoplasma en todas direcciones por un flujo de corriente local. Simultáneamente, en el exterior de la membrana axónica la corriente fluye de forma retrógrada hacia la sección despolarizada. El flujo de corriente local en el citoplasma disminuiría con la distancia y finalmente desaparecería. Pero el axón está provisto de canales de Na^+ regulados por voltaje. Siempre que una despolarización los alcanza, esos canales se abren, lo que permite que el Na^+ entre en la célula y refuerce la despolarización. Este mecanismo inicia un bucle de retroalimentación positiva.



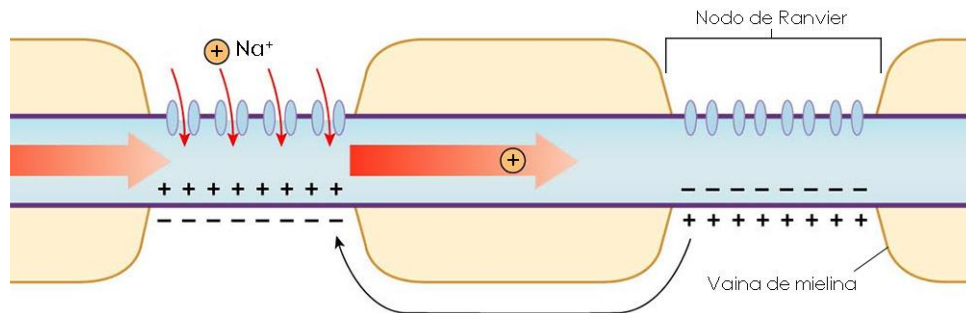
3.8. CONDUCCIÓN

Existen dos tipos de conducción:

- **Continua.** Despolarizaciones punto a punto del axolema. Se da en fibras amielínicas.
- **Saltatoria.** Despolarizaciones sólo en los nódulos de Ranvier, donde existen canales voltaje dependientes. La corriente es llevada por el flujo de iones de nódulo a nódulo. Se da en fibras mielínicas.

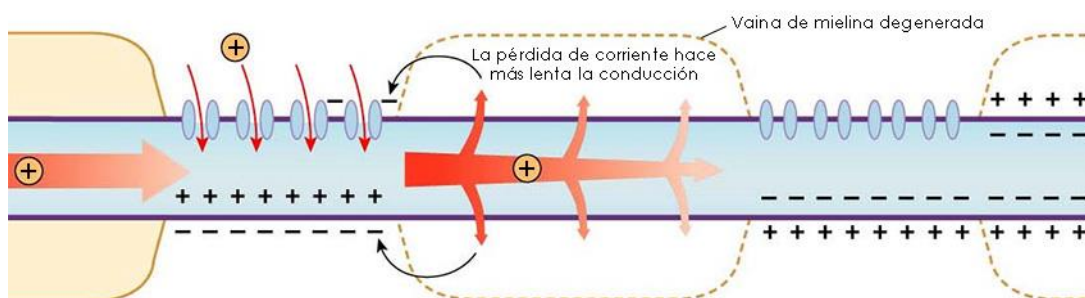
La conducción de los potenciales de acción a lo largo del axón es más rápida en los axones de resistencia alta, en los cuales la pérdida de corriente hacia afuera de la célula está minimizada. El axón sin mielina (*amielínico*) tiene baja resistencia a la pérdida de corriente porque la totalidad de la membrana del axón está en contacto con el líquido extracelular y tiene canales iónicos a través de los cuales puede escapar corriente. Por el contrario, los axones mielinizados o mielínicos limitan la cantidad de membrana en contacto con el líquido extracelular. En estos axones, pequeñas secciones de membrana desnuda (*los nodos de Ranvier*) alternan con segmentos más largos envueltos en múltiples capas de membrana (*la vaina de mielina*). La vaina de mielina crea una pared de alta resistencia que impide que los iones salgan del citoplasma. Las membranas de mielina son análogas a los gruesos revestimientos de plástico que rodean los alambres eléctricos, y aumentan el espesor efectivo de la membrana axónica hasta 100 veces.

A medida que un potencial de acción se propaga por el axón desde la zona gatillo hasta la terminación axónica, atraviesa regiones del axón mielínico que se alternan con los nodos de Ranvier. El proceso de conducción es idéntico al descrito previamente para el axón amielínico, salvo en que los axones mielínicos ocurre sólo en los nodos. Cada nodo tiene una alta concentración de canales de Na^+ regulados por voltaje, que se abren con la despolarización y permiten que el Na^+ entre en el axón. Los iones de sodio que ingresan a un nodo refuerzan la despolarización y mantienen la amplitud del potencial de acción constante cuando pasa de un nodo a otro. El salto aparente de un potencial de acción de un nodo al otro se denomina **conducción saltatoria**.



¿Qué vuelve más rápida la conducción en los axones mielínicos? La apertura de los canales hace ligeramente más lenta la conducción. En los axones amielínicos, los canales deben abrirse en todo el camino a lo largo de la membrana axónica para mantener la amplitud del potencial de acción. En los axones mielínicos, sólo los nodos necesitan canales de Na^+ por las propiedades aislantes de la membrana de mielina. A medida que el potencial de acción pasa a lo largo de los segmentos mielínicos, la conducción no se entorpece por la apertura de canales.

En las enfermedades desmielinizantes, la pérdida de mielina de las neuronas puede tener efectos devastadores sobre la señalización neural. En los sistemas nerviosos central y periférico, la pérdida de mielina hace más lenta la conducción de los potenciales de acción. Además, cuando los iones escapan fuera de las regiones de la membrana que ahora no tienen aislamiento entre los nodos de Ranvier ricos en canales, la despolarización que alcanza un nodo puede no estar por encima del umbral y la conducción puede fallar.



La **esclerosis múltiple** es la enfermedad desmielinizante más frecuente y mejor conocida. Se caracteriza por distintos síntomas neurológicos, que incluyen fatiga, debilidad muscular, dificultad para la deambulación y pérdida de visión. En su mayoría estas enfermedades son trastornos hereditarios o autoinmunes.

3.9. FACTORES QUE AFECTAN A LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN DEL IMPULSO NERVIOSO

- **Diámetro de la fibra.** Cuanto más grande es el diámetro del axón más rápido se mueve el potencial de acción.
- **Mielina:** La mielina también aumenta la velocidad de conducción.
 - Fibras amielínicas 0,25 m/seg
 - Fibras grandes mielínicas: 100 m/seg
- **La temperatura** aumenta la velocidad de conducción. El aumento de temperatura, dentro de los límites fisiológicos, permite un aumento de la velocidad de conducción. La explicación a este hecho radica en que, a mayor temperatura, existe una mayor facilidad al paso de los iones a través de los canales de membrana. El frío actúa en sentido inverso.
- **Factores químicos.** Distintas sustancias químicas alteran la conducción de los potenciales de acción al unirse a los canales de Na^+ , K^+ o Ca^{2+} en la membrana de la neurona. Por ejemplo, algunas neurotoxinas se unen a los canales de Na^+ y los bloquean. Los anestésicos locales como la lidocaína, tetracaína, que bloquean la sensibilidad, funcionan de la misma forma. Existen sustancias tóxicas en alimentos como las procedentes de las gónadas torácicas del pez globo o fugu (*sushi*) que actúa bloqueando la transmisión nerviosa.

TEMA 4. COMUNICACIÓN INTERCELULAR EN EL SISTEMA NERVIOSO

4.1. SINAPSIS

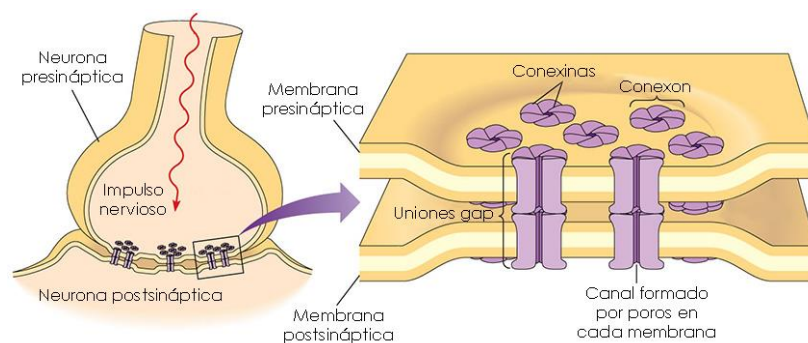
Las **sinapsis** son zonas especializadas de contacto entre neuronas en las que tiene lugar la transmisión de la información en el sistema nervioso. Se clasifican como eléctricas o químicas de acuerdo con el tipo de señal que pasa de la célula presináptica a la postsináptica.

4.1.1. SINAPSIS ELÉCTRICAS

En una **sinapsis eléctrica**, los potenciales de acción (*impulsos*) se transmiten directamente entre células adyacentes a través de unas estructuras llamadas **uniones comunicantes** o **en hendidura** (*uniones gap*). Estas uniones actúan como conductos para conectar directamente el citosol de las dos células. A medida que los iones fluyen de una célula a la siguiente a través de los conexones, el potencial de acción se propaga de célula en célula. La transmisión de la información puede ser en ambas direcciones (**transmisión bidireccional**). Las uniones de este tipo son frecuentes en el músculo liso visceral, el músculo cardíaco y el embrión en desarrollo. También se encuentran en abundancia en el SNC.

Las sinapsis eléctricas tienen dos ventajas principales:

- **Comunicación más rápida.** Como los potenciales de acción se transmiten directamente a través de las uniones en hendidura, las sinapsis eléctricas son más rápidas que las sinapsis químicas. En una sinapsis eléctrica, el potencial de acción pasa directamente de la célula presináptica a la célula postsináptica. Los fenómenos que tienen lugar en una sinapsis química llevan un poco más de tiempo y demoran ligeramente la comunicación.
- **Sincronización.** Las sinapsis eléctricas pueden sincronizar la actividad de un grupo de neuronas o de fibras musculares. En otras palabras, un número de neuronas o de fibras musculares pueden producir potenciales de acción al unísono si es que están interconectadas por uniones en hendidura. El valor que tienen estos potenciales sincronizados en el corazón o en el músculo liso visceral se ve reflejado en la contracción coordinada de las fibras para producir un latido cardíaco o para facilitar la progresión del alimento a lo largo del tracto gastrointestinal.



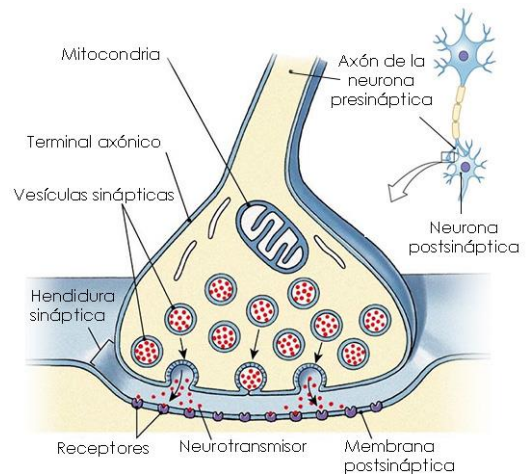
4.1.2. SINAPSIS QUÍMICAS

A pesar de la cercanía entre las membranas plasmáticas de las neuronas presinápticas y postsinápticas en una **sinapsis química**, ambas no se tocan. Están separadas por la **hendidura sináptica** o **espacio sináptico**,

un espacio lleno de líquido intersticial. Los impulsos nerviosos no pueden ser conducidos a través de la hendidura sináptica, por lo cual se produce una forma de comunicación alternativa o indirecta.

En respuesta a un estímulo nervioso, la neurona presináptica libera un neurotransmisor que se difunde a través del líquido de la hendidura sináptica y se une a receptores específicos en la membrana plasmática de la neurona postsináptica. La neurona postsináptica recibe la señal química y, como resultado, produce un potencial postsináptico, un potencial de tipo graduado.

De esta forma, la neurona presináptica convierte una señal eléctrica (el impulso nervioso) en una señal química (el neurotransmisor liberado). La neurona postsináptica recibe esta señal química y, en respuesta, genera una señal eléctrica (el potencial postsináptico). En la mayor parte de las sinapsis químicas, la transferencia de información es **unidireccional** y más lenta que las sinapsis eléctricas.



ESTRUCTURA

La terminación axónica contiene:

- Mitocondrias
- Vesículas sinápticas con neurotransmisores

La membrana postsináptica posee receptores para el neurotransmisor.

La especificidad de la comunicación nerviosa depende de:

- Neurotransmisor liberado.
- Receptores
- Conexiones sinápticas

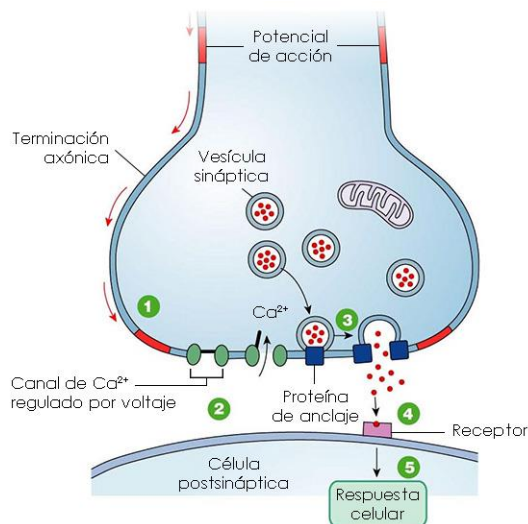
4.1.3. TRANSMISIÓN EN LA SINAPSIS QUÍMICA

Cuando la despolarización de un potencial de acción alcanza la terminación axónica, el cambio en el potencial de la membrana establece una secuencia de eventos. La membrana de la terminación axónica tiene canales de Ca^{2+} regulados por voltaje que se abren en respuesta a la despolarización.

Los iones calcio se encuentran más concentrados en el líquido extracelular que en el citoplasma y por eso se mueven hacia la célula. El Ca^{2+} se une a proteínas reguladoras e inicia la exocitosis.

La membrana de la vesícula sináptica se fusiona con la membrana celular, ayudada por proteínas de membrana. El área fusionada se abre y el neurotransmisor en el interior de la vesícula sináptica se mueve hacia la hendidura sináptica.

Las moléculas de neurotransmisor difunden a través de la hendidura para unirse con receptores de membrana sobre la célula postsináptica. Cuando los neurotransmisores se unen a sus receptores, se inicia una respuesta en la célula postsináptica.



- 1 Un potencial de acción despolariza la terminación axónica
- 2 La despolarización abre los canales de Ca^{2+} regulados por voltaje y el Ca^{2+} entra en la célula
- 3 La entrada de calcio dispara la exocitosis del contenido de la vesícula sináptica
- 4 El neurotransmisor difunde a través de la hendidura sináptica y se une con receptores sobre la célula postsináptica
- 5 La unión del neurotransmisor inicia una respuesta en la célula postsináptica

4.1.4. ESTRUCTURA DE LA HENDIDURA SINÁPTICA

La hendidura sináptica es el pequeño espacio que separa los elementos pre y postsináptico.

Habitualmente no es mayor de 50 nm, aunque puede oscilar entre 30 y 400 nm. La hendidura sináptica está ocupada por un entramado fibroso que facilita la difusión del NT hacia el elemento postsináptico. Junto a estas fibras se encuentran las enzimas que metabolizan el NT. Cuando el NT es liberado se dirige hacia los receptores específicos que se encuentran en la membrana postsináptica. Para un buen funcionamiento de la sinapsis, es imprescindible limitar la acción del neurotransmisor a unos cuantos milisegundos, ya que la acción continuada del NT sobre los receptores los desensibiliza, provocando un mal funcionamiento del sistema.

La eliminación del NT en la hendidura se realiza de tres modos distintos:

- Difusión:** es un mecanismo de escaso interés debido al escaso espacio de la hendidura, que no permite una disminución rápida de la concentración del NT.
- Metabolismo** del neurotransmisor por enzimas específicas localizadas en el entramado fibroso. Por ejemplo, la enzima acetilcolinesterasa (ACO) hidroliza la acetilcolina en la hendidura sináptica.
- Recaptación:** muchos neurotransmisores son transportados activamente hacia el interior de las neuronas que los liberaron.

4.2. SEÑALES NEUROCRINAS

Las moléculas de señal neurocrinas tienen una composición química variada y pueden funcionar como **neurotransmisores**, **neuromoduladores** o **neurohormonas**.

Los neurotransmisores y neuromoduladores actúan como señales paracrinas, y sus células diana están localizadas cerca de la neurona que los secreta. En cambio, las neurohormonas son secretadas en la sangre y se distribuyen por todo el cuerpo.

En general, los neurotransmisores actúan en una sinapsis y producen una respuesta rápida. Los neuromoduladores actúan tanto en sitios sinápticos como no sinápticos y tienen una acción más lenta. Algunos neuromoduladores y neurotransmisores también actúan sobre la célula que los secreta, lo que los convierte tanto en señales autocrinas como en paracrinas.

La cantidad de moléculas identificadas como neurotransmisores y neuromoduladores es grande y crece constantemente.

4.3. NEUROTRANSMISORES

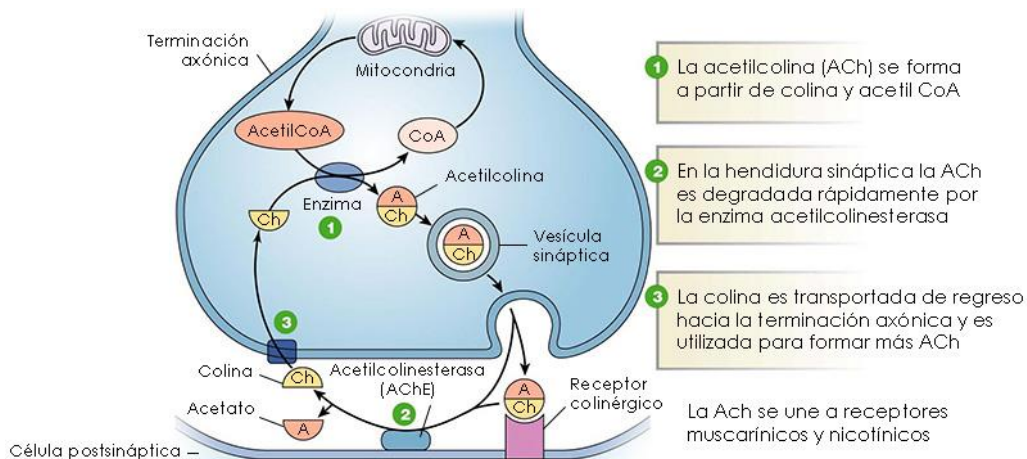
El conjunto de neurocrinas del cuerpo es verdaderamente asombroso. Pueden agruparse en siete clases según su estructura:

- 1) Acetilcolina
- 2) Aminas
- 3) Aminoácidos
- 4) Purinas
- 5) Gases
- 6) Péptidos
- 7) Lípidos

Las neuronas del SNC liberan muchos neurocrinos diferentes, que incluyen algunos polipéptidos conocidos principalmente por su actividad hormonal. En cambio, el SNP secreta sólo tres neurocrinas principales: los neurotransmisores acetilcolina y noradrenalina y la neurohormona adrenalina.

4.3.1. ACETILCOLINA

La acetilcolina (ACh), una clase química por sí sola, es sintetizada a partir de colina y acetilcoenzima A (acetilCoA). La colina es una molécula pequeña que se encuentra también en los fosfolípidos de membrana. La acetilCoA es el intermediario metabólico entre la glucólisis con el ciclo del ácido cítrico. La síntesis de ACh a partir de estos dos precursores es una reacción enzimática simple que tiene lugar en la terminación axónica. Las neuronas que secretan ACh y los receptores que se unen a ella se describen como **colinérgicos**.



4.3.2. AMINAS

Los neurotransmisores amínicos, al igual que las hormonas amínicas, derivan de los aminoácidos. El aminoácido tirosina es convertido en **dopamina**, **norepinefrina** (*noradrenalina*) y **epinefrina** (*adrenalina*). Estas tres neurocrinas funcionan como neurohormonas cuando son secretadas por la médula suprarrenal.

Las neuronas que secretan norepinefrina se denominan **neuronas adrenérgicas** o, más concretamente, **neuronas noradrenérgicas**.

Otros neurotransmisores amínicos son la **serotonina**, elaborada a partir del aminoácido triptófano, y la **histamina**, elaborada a partir de la histidina.

Todos los neurotransmisores amínicos son activos en el SNC. Además, la norepinefrina es el principal neurotransmisor de la división simpática autónoma periférica.

4.3.3. AMINOÁCIDOS

Por lo menos cuatro aminoácidos funcionan como neurotransmisores en el SNC.

El **glutamato** es el principal neurotransmisor excitatorio del SNC y el **aspartato** cumple la misma función en regiones seleccionadas del cerebro.

El principal neurotransmisor inhibitorio en el encéfalo es el **GABA**. El aminoácido **glicina** también se considera inhibitorio, aunque puede unirse a un tipo de receptor de glutamato y ser excitatorio. La glicina es el principal neurotransmisor inhibitorio de la médula espinal.

4.3.4. PÉPTIDOS

El sistema nervioso secreta distintos péptidos que actúan como neurotransmisores y neuromoduladores además de funcionar como neurohormonas. Estos péptidos incluyen la **sustancia P**, involucrada en algunas vías del dolor, y los **péptidos opioides** que media la analgesia.

4.3.5. PURINAS

La adenosina, el adenosinmonofosfato (**AMP**) y el adenosintrifosfato (**ATP**) pueden actuar como neurotransmisores. Estas moléculas, conocidas como purinas, se unen a receptores purinérgicos en el SNC y sobre otros tejidos excitables, como el corazón.

4.3.6. GASES

Uno de los neurotransmisores más interesantes es el **óxido nítrico (NO)** que difunde libremente en una célula diana en lugar de unirse a un receptor de la membrana. Una vez dentro de la célula diana se une a las proteínas. Con una vida media de tan solo 2-30 segundos, el óxido nítrico es evasivo y difícil de estudiar.

La investigación reciente sugiere que el **monóxido de carbono (CO)**, conocido como un gas tóxico, es producido por el organismo en pequeñas cantidades para servir como neurotransmisor.

4.3.7. LÍPIDOS

Los neurocrinos lipídicos incluyen varios **eicosanoides** que son los ligandos endógenos para los receptores de cannabioides.

4.4. RECEPTORES

Todos los neurotransmisores excepto el óxido nítrico tienen uno o más tipos de receptores a los cuales se unen. Cada tipo de receptor puede tener varios subtipos, una propiedad que le permite a un neurotransmisor tener diferentes efectos en diferentes tejidos.

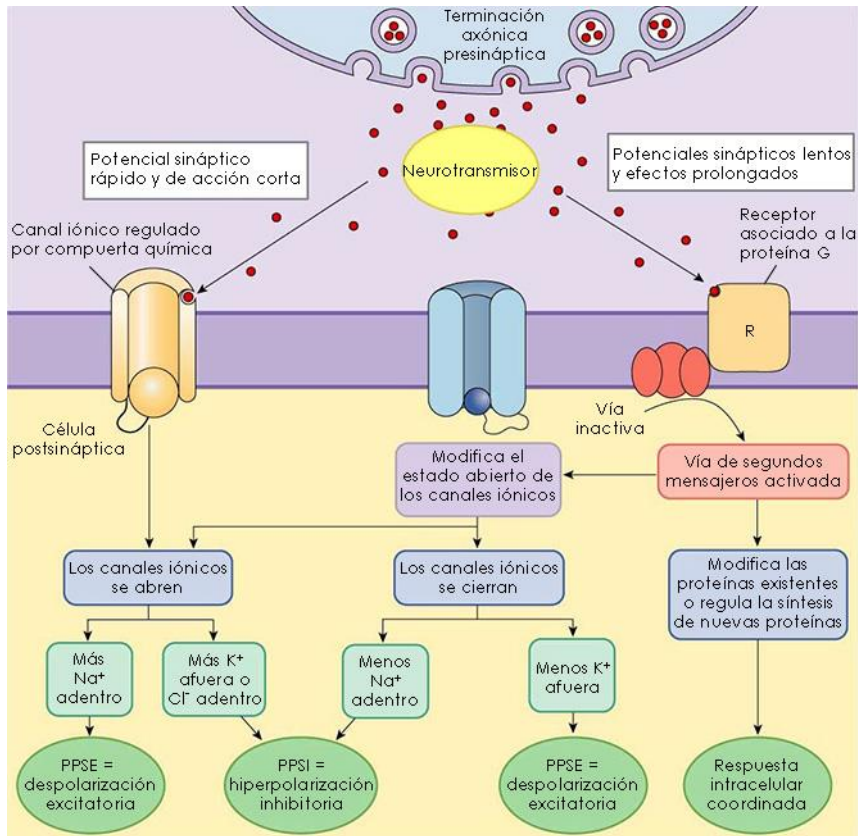
- **Receptores colinérgicos** (*Ach*). Tienen dos subtipos principales:
 - **Nicotínicos**. Son canales iónicos. Se encuentran en el músculo esquelético, división autónoma del SNP y en el SNC.
 - **Muscarínicos**. Están en el SNC y en la división parasimpática autónoma del SNP.
- **Receptores adrenérgicos**. Se dividen en dos clases; α (*alfa*) y β (*beta*), con múltiples subtipos de cada uno de ellos.
- **Receptores glutaminérgicos**: El glutamato es el principal neurotransmisor excitatorio del SNC y también actúa como neuromodulador.
- **Receptores dopaminérgicos**: dopamina.
- **Etc. etc.**

4.5. POTENCIALES POSTSINÁPTICOS

Cuando un neurotransmisor se combina con su receptor pone en movimiento una serie de respuestas en la célula postsináptica. En la respuesta más simple, el neurotransmisor se une a un canal-receptor sobre la célula postsináptica y lo abre, lo cual produce el movimiento de un ión entre la célula postsináptica y el líquido extracelular. El cambio resultante en el potencial de membrana se denomina **potencial postsináptico rápido** porque comienza rápidamente y solo dura algunos milisegundos. Si el potencial postsináptico es despolarizante o excitador, se denomina **potencial postsináptico excitatorio (PPSE)** porque aumenta la probabilidad de que la célula dispare un potencial de acción. Si el potencial sináptico es hiperpolarizante o inhibitorio, se denomina **potencial postsináptico inhibitorio (PPSI)** porque la hiperpolarización aleja el potencial de membrana del umbral y reduce la probabilidad de que la célula dispare un potencial de acción.

En las respuestas postsinápticas lentas, los neurotransmisores se unen a receptores asociados a proteína G ligados a sistemas de segundos mensajeros. Los segundos mensajeros pueden actuar desde el lado citoplasmático de la membrana celular para abrir o cerrar canales iónicos (*Los potenciales sinápticos rápidos siempre abren canales iónicos*). Los potenciales de membrana resultantes de este proceso se denominan **potenciales sinápticos lentos** porque el método del segundo mensajero tarda más en crear una respuesta. Además, la respuesta propiamente dicha dura más tiempo, habitualmente segundos a minutos.

En las respuestas postsinápticas lentas no se limitan a alterar el estado de apertura de los canales iónicos. La activación por los neurotransmisores de los sistemas de segundos mensajeros también puede modificar las proteínas celulares existentes, o regular la producción de nuevas proteínas celulares. Este tipo de respuesta lenta ha sido ligada al crecimiento y el desarrollo de las neuronas y a los mecanismos que subyacen en la memoria a largo plazo.

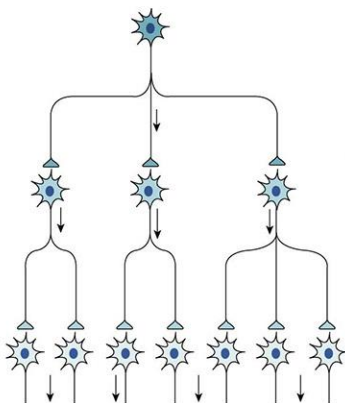


4.6. INTEGRACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE LA INFORMACIÓN NEURAL

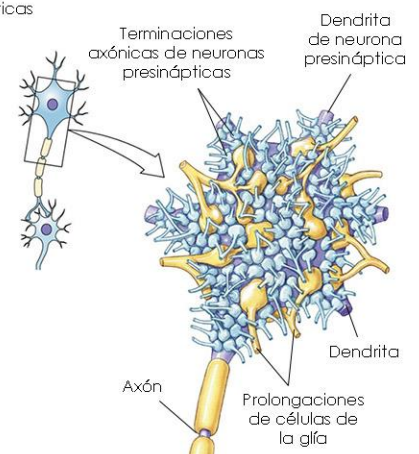
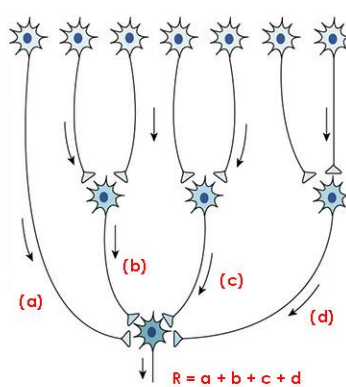
Tradicionalmente, los científicos consideraban a las sinapsis químicas como sitios de comunicación unidireccional, y todos los mensajes pasaban de una célula presináptica a otra postsináptica. Ahora sabemos que no siempre sucede así.

La comunicación entre las neuronas no siempre es un acontecimiento uno a uno. A veces una sola neurona presináptica se ramifica y sus colaterales hacen sinapsis sobre múltiples neuronas diana. Este patrón se conoce como **divergencia**. Si una cantidad mayor de neuronas presinápticas proporciona aferencias a una cantidad menor de neuronas postsinápticas, el patrón se conoce como **convergencia**. La combinación de convergencia y divergencia en el SNC puede conducir a que en una neurona postsináptica se establezcan sinapsis provenientes de hasta 10.000 neuronas presinápticas.

En una vía divergente, una neurona presináptica se ramifica para afectar una cantidad mayor de neuronas postsinápticas.



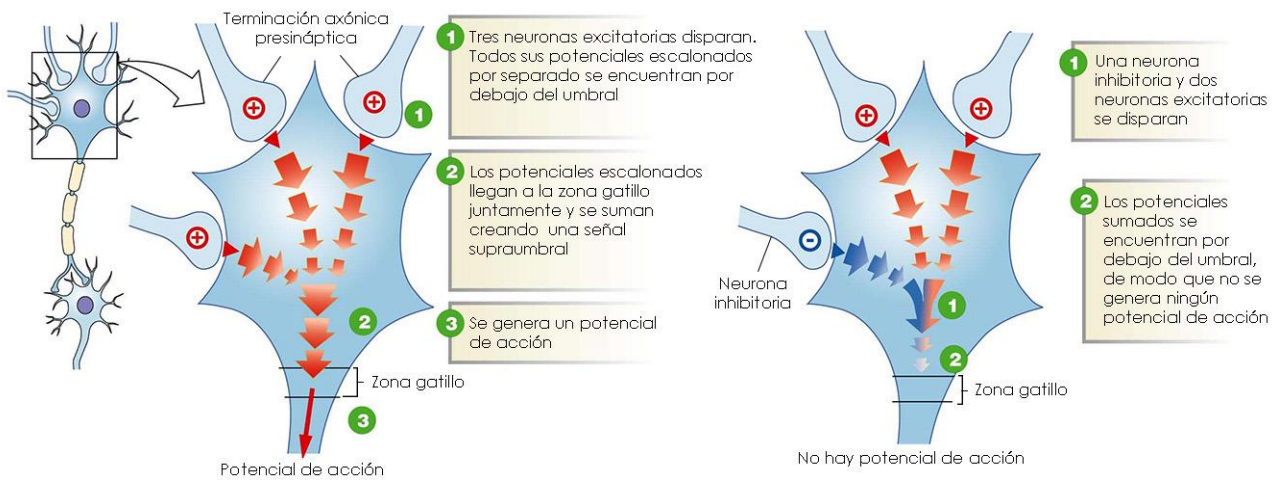
En una vía convergente, muchas neuronas presinápticas convergen para influir en una cantidad menor de neuronas postsinápticas



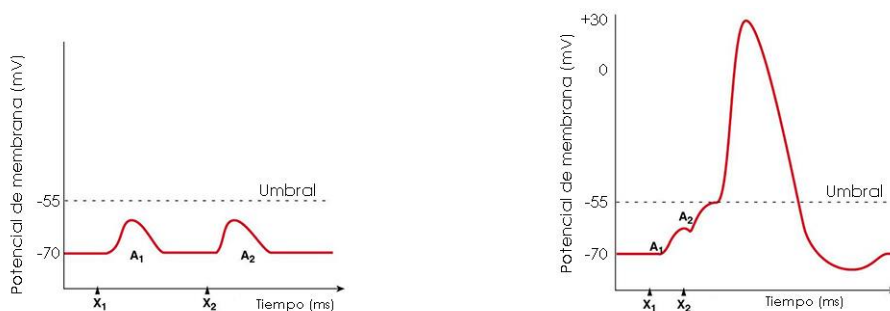
4.6.1. SUMACIÓN

Una ventaja de la convergencia en el sistema nervioso es que las aferencias provenientes de múltiples orígenes pueden influir en las eferencias de una única célula postsináptica. Cuando dos o más neuronas presinápticas convergen sobre las dendritas o el cuerpo celular de una única célula postsináptica, la respuesta de la célula postsináptica estará determinada por las aferencias sumadas provenientes de las neuronas presinápticas.

Si todos los estímulos crean potenciales excitatorios (PPSE) subumbrales, éstos pueden sumarse para crear un potencial supraumbral en la zona gatillo. La iniciación de un potencial de acción de varios potenciales escalonados simultáneos es un ejemplo de **suma espacial**. La palabra espacial se refiere al hecho de que los potenciales escalonados se originan en diferentes localizaciones (espacios) sobre la neurona.



La suma de los potenciales escalonados no siempre requiere aferencias provenientes de más de una neurona presináptica. Dos potenciales escalonados subumbrales provenientes de la misma neurona presináptica pueden sumarse si llegan a la zona gatillo lo suficientemente próximos entre ellos en el tiempo. La suma que ocurre de los potenciales escalonados que se superponen en el tiempo se denomina **suma temporal**.



a) **No hay suma.** Dos potenciales escalonados no producen un potencial de acción si están muy separados en el tiempo

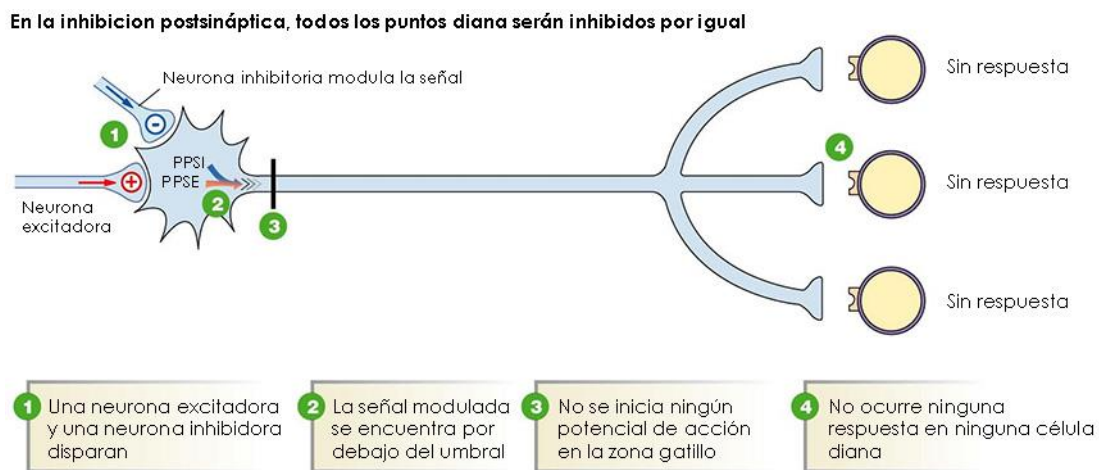
b) **Suma que produce potencial de acción.** Si dos potenciales subumbrales llegan a la zona gatillo dentro de un breve periodo de tiempo, pueden sumarse y crear un PA

4.7. OTROS FENÓMENOS QUE ALTERAN LA ACTIVIDAD SINÁPTICA

- **Modulación presináptica**
 - Inhibición presináptica
 - Facilitación presináptica
- **Modulación postsináptica**
 - Inhibición postsináptica
 - Potenciación y depresión a largo plazo

4.7.1. MODULACIÓN POSTSINÁPTICA

Se puede producir **inhibición postsináptica** cuando una neurona presináptica libera un neurotransmisor inhibitorio sobre una célula postsináptica y altera su respuesta.



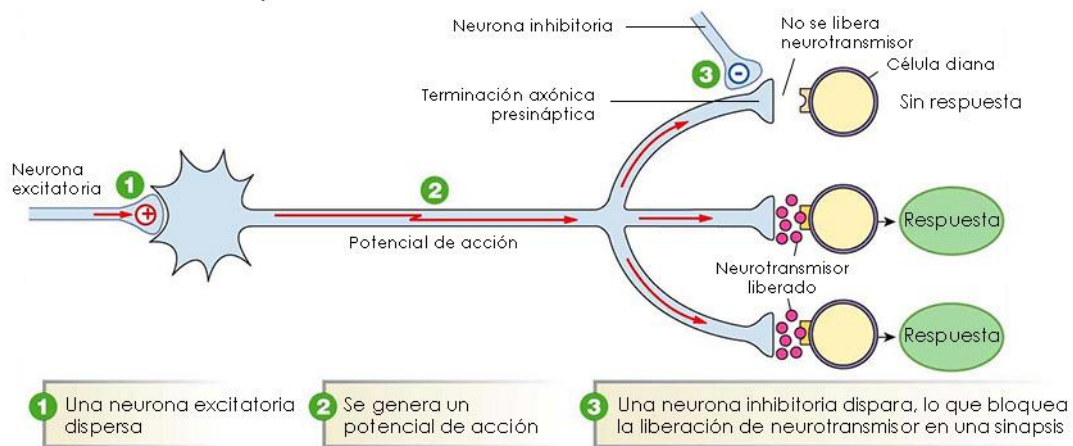
La **potenciación a largo** plazo modifica la comunicación sináptica. La potenciación y la depresión a largo plazo son procesos en los cuales la actividad en una sinapsis induce cambios sostenidos en la calidad o la cantidad de conexiones sinápticas. Se cree que la potenciación y la depresión a largo plazo están relacionadas con los procesos neurales para aprendizaje y memoria.

4.7.2. MODULACIÓN PRESINÁPTICA

Cuando una neurona moduladora (*inhibitoria* o *excitatoria*) llega a una terminación axónica de una célula presináptica o próxima a ella, la suma de sus PPSE o PPSI con el potencial de acción que alcanza la terminación crea una modulación presináptica. Si la actividad en la neurona moduladora disminuye la liberación del neurotransmisor, la modulación se denomina **inhibición presináptica**. En la **facilitación presináptica**, las aferencias moduladoras aumentan la liberación del neurotransmisor por la célula presináptica.

La modulación presináptica proporciona un medio de control más preciso que la modulación postsináptica. Si la reactividad de una neurona se modifica en las dendritas y el cuerpo celular, todas las células diana de la neurona se afectan por igual. Por el contrario, la inhibición presináptica sobre una neurona divergente permite la modulación selectiva de los colaterales y sus puntos diana. Una colateral puede ser inhibida mientras que las otras se mantienen inalteradas.

En la inhibición presináptica, una neurona moduladora hace sinapsis sobre una colateral de la neurona presináptica e inhibe selectivamente un punto diana.



4.8. TRASTORNOS EN LA ACTIVIDAD SINÁPTICA

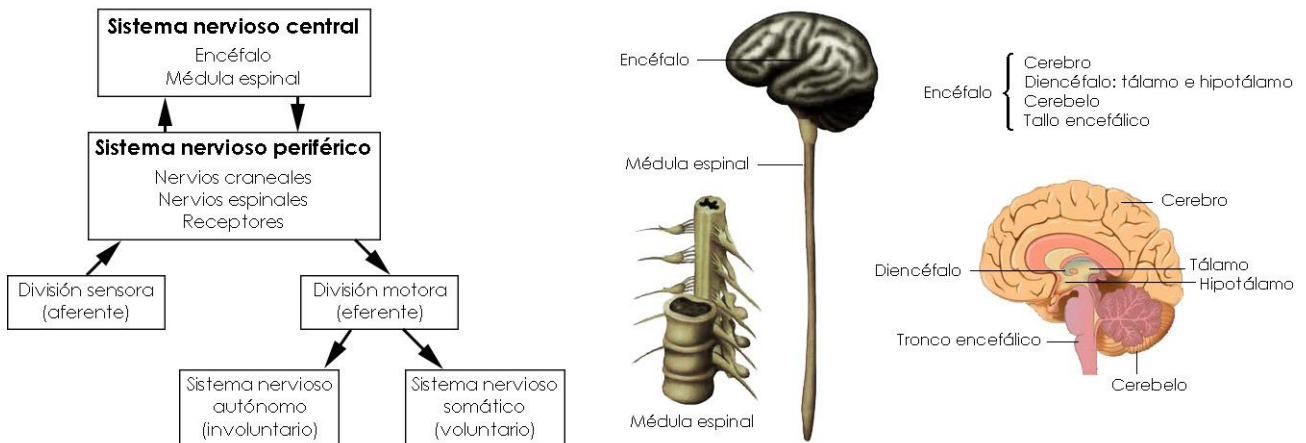
Distintos trastornos del sistema nervioso están relacionados con problemas en la transmisión sináptica. Estos trastornos incluyen la enfermedad de Parkinson, la esquizofrenia y la depresión.

Los fármacos que actúan sobre la actividad sináptica, sobre todo las sinapsis del SNC, son los más antiguos conocidos y más ampliamente utilizados de todos los agentes farmacológicos. La cafeína, la nicotina y el alcohol son drogas frecuentes en muchas culturas.

TEMA 5. ORGANIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO

5.1. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El sistema nervioso central en los vertebrados consiste en el encéfalo y la médula espinal. En todos los vertebrados, el SNC consiste en capas de tejido nervioso que rodean una cavidad central llena de líquido y revestida por epitelio.



El sistema nervioso central, al igual que el sistema nervioso periférico, está compuesto por neuronas y células de la guía de sostén. Las interneuronas son neuronas contenidas completamente en el SNC. Las neuronas sensitivas (*aférentes*) y las eferentes conectan las interneuronas con los receptores y efectores periféricos.

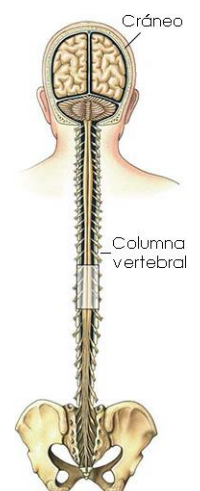
Cuando se visualizan a nivel macroscópico, los tejidos del SNC están divididos en sustancia gris y sustancia blanca. La **sustancia gris** está constituida por cuerpos de células nerviosas amielínicas, dendritas y terminaciones axónicas. Los cuerpos celulares están ensamblados de forma organizada tanto en el encéfalo como en la médula espinal. En algunas partes del encéfalo forman capas y en otras se reúnen en grupos de neuronas que tienen funciones similares. Los grupos de cuerpos celulares en el encéfalo y la médula espinal se conocen como núcleos, y suelen identificarse mediante nombres específicos.

La **sustancia blanca** está formada principalmente por axones mielínicos y contiene muy pocos cuerpos celulares. Su color claro proviene de las vainas de mielina que rodean a los axones. Los haces de axones que conectan diferentes regiones del SNC se conocen como tractos. Los tractos del SNC son equivalentes a los nervios del SNP.

La consistencia del encéfalo y la médula espinal es blanda y gelatinosa.

En los vertebrados, el encéfalo está encerrado en un **cráneo óseo** y la médula espinal discurre a través de un canal en la **columna vertebral**. La segmentación corporal que es característica de muchos invertebrados se puede ver en las vértebras óseas, que están apiladas unas sobre otras y separadas por discos de tejido conectivo. Nervios del sistema nervioso periférico entran y salen de la médula espinal atravesando escotaduras entre las vértebras apiladas.

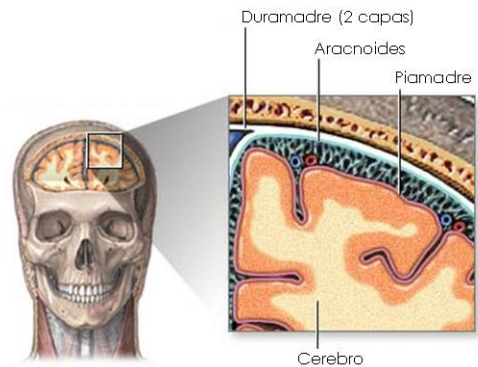
Tres capas de membrana, denominadas en conjunto **meninges**, se ubican entre los huesos y los tejidos del SNC. Estas membranas ayudan a estabilizar el tejido nervioso y



protegerlo de los golpes contra los huesos del esqueleto. Comenzando desde los huesos y moviéndose hacia el tejido nervioso, las membranas son:

- 1) La duramadre
- 2) La aracnoides
- 3) La piamadre

La **piamadre** es una delgada membrana que se adhiere a la superficie del encéfalo y la médula espinal. Las arterias que irrigan el encéfalo están vinculadas con esta capa. La **aracnoides** está unida laxamente a la piamadre y deja un espacio subaracnoideo entre las dos capas. La **duramadre** es gruesa y se vincula con las venas que drenan sangre desde el encéfalo a través de vasos o cavidades llamados senos.

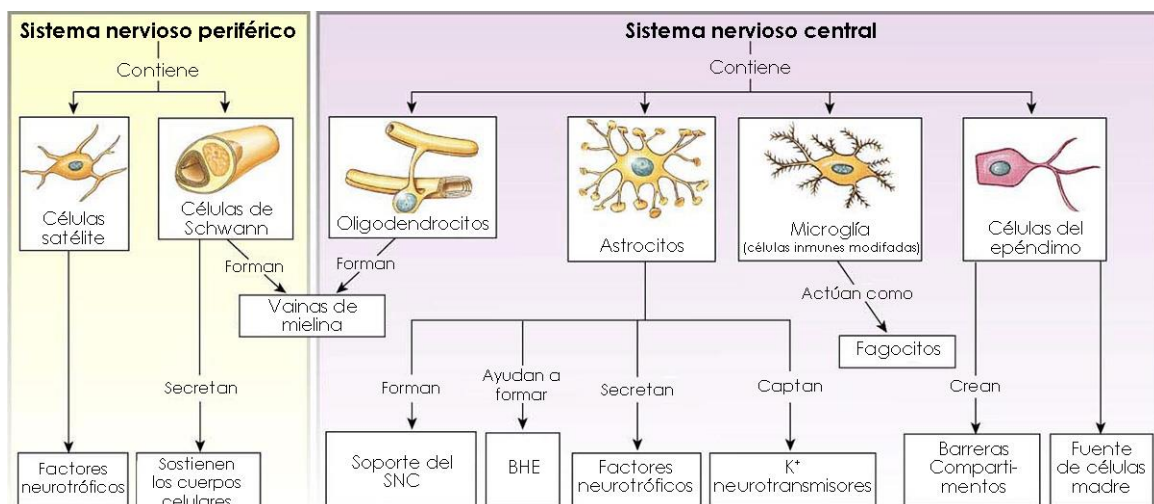


El componente protector final del SNC es el líquido extracelular que sirve de amortiguador al delicado tejido nervioso. El cráneo tiene un volumen interno de 1,4 L, de los cuales alrededor de 1L está ocupado por células. El volumen restante está dividido en dos compartimentos extracelulares distintos: la sangre y los líquidos cefalorraquídeo e intersticial. El líquido cefalorraquídeo y el líquido intersticial juntos forman el medioambiente extracelular para las neuronas. El líquido intersticial se ubica dentro de la piamadre; el líquido cefalorraquídeo se encuentra en los ventrículos y el espacio entre la piamadre y la membrana aracnoides. Los dos líquidos se comunican entre ellos a través de uniones permeables de la piamadre y la capa de células del epéndimo que reviste los ventrículos.

5.2. CÉLULAS DE LA GLÍA

Las **células de la glía** superan en número a las neuronas en 10-50 a 1. Aunque las células de la glía no participan directamente en la transmisión de señales eléctricas en distancias largas, proporcionan un soporte físico y bioquímico importante a las neuronas. El tejido nervioso secreta muy poca matriz extracelular y las células de la glía proporcionan estabilidad a las neuronas al rodearlas. Algunas células de la glía proporcionan soporte metabólico a las neuronas y ayudan a mantener la homeostasis del líquido extracelular del encéfalo al captar el exceso de metabolitos y K^+ .

Las células de la glía se comunican con las neuronas y entre ellas fundamentalmente a través de señales químicas. Los factores de crecimiento derivados de la glía y los factores tróficos (*nutritivos*) ayudan a mantener a las neuronas y a guiarlas durante la reparación y el crecimiento.

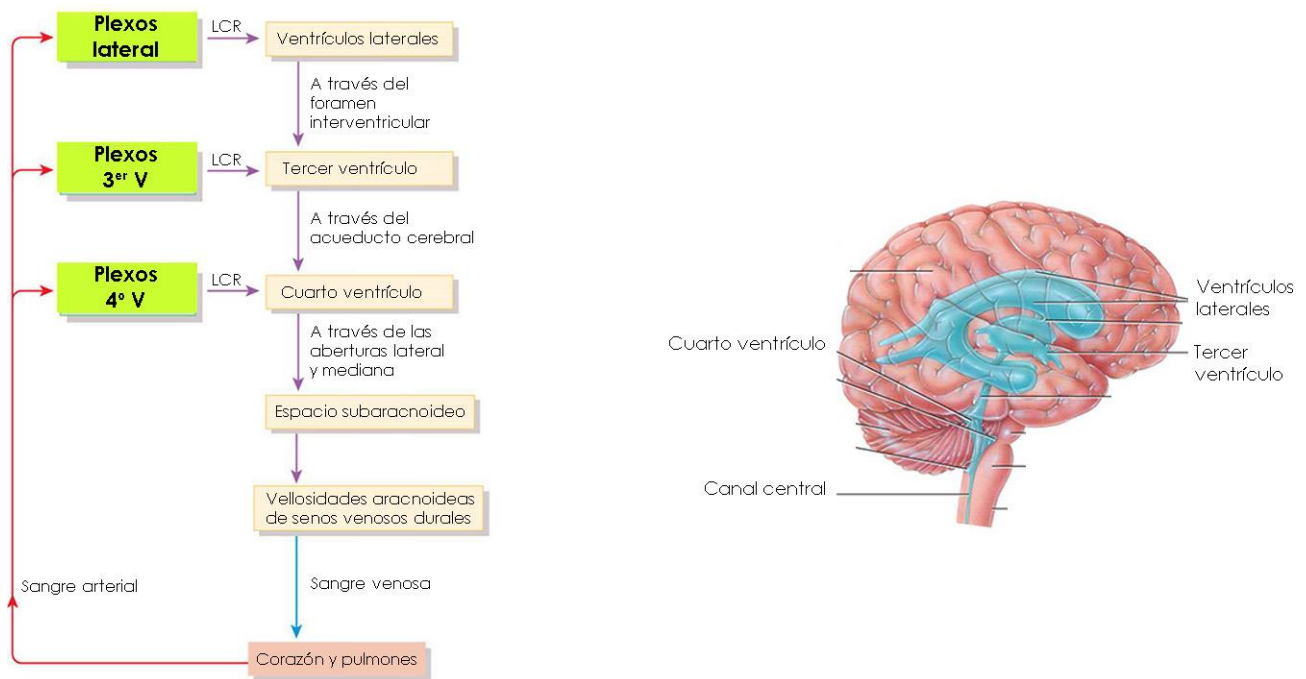


5.3. LÍQUIDO CEFALORRAQUÍDEO

El **líquido cefalorraquídeo** es una solución salina secretada continuamente por el **plexo coroideo**, una región especializada sobre las paredes de los ventrículos. El plexo coroideo es notablemente similar al tejido renal y consiste en capilares y un epitelio de transporte derivado del epéndimo. Las células del plexo coroideo bombean selectivamente sodio y otros solutos desde el plasma hacia los ventrículos y crean un gradiente osmótico que atrae agua juntamente con los solutos.

5.3.1. CIRCULACIÓN DEL LCR

Desde los ventrículos, el líquido cefalorraquídeo fluye hacia el **espacio subaracnoideo** entre la piamadre y la aracnoides, y rodea todo el encéfalo y la médula espinal con líquido. El líquido cefalorraquídeo fluye alrededor del tejido nervioso y es absorbido finalmente de nuevo hacia la sangre por vellosidades especiales sobre la aracnoides en el cráneo. La velocidad de flujo del líquido a través del sistema nervioso central es suficiente como para reponer todo el volumen de líquido cefalorraquídeo aproximadamente tres veces al día.



5.3.2. FUNCIONES DEL LCR

El líquido cefalorraquídeo cumple dos propósitos: **protección física** y **protección química**. El encéfalo y la médula espinal flotan en la delgada capa de líquido entre las membranas. La flotabilidad del líquido cefalorraquídeo reduce el peso del encéfalo casi 30 veces. Esta disminución del peso se traduce en una menor presión sobre los vasos sanguíneos y los nervios unidos al SNC.

El líquido cefalorraquídeo también proporciona un **cojín protector**. Cuando ocurre un golpe en la cabeza, el líquido debe ser comprimido antes de que el encéfalo pueda golpear el interior del cráneo.

Además de proteger físicamente los delicados tejidos del SNC, el líquido cefalorraquídeo crea un medio extracelular cuidadosamente regulado para las neuronas. El plexo coroideo es selectivo sobre qué sustancias

transportar hacia los ventrículos, y como resultado la composición del líquido cefalorraquídeo es diferente de la del plasma. Las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- y glucosa son más bajas en el LCR y la concentración de H^+ es más alta. Sólo la concentración de Na^+ en el LCR es similar a la de la sangre. Además, contiene muy pocas proteínas y ningún eritrocito.

El líquido cefalorraquídeo intercambia solutos con el líquido intersticial del SNC y proporciona una vía por la cual se pueden eliminar los desechos.

Desde el punto de vista clínico, se presume que una muestra de LCR es un indicador del medioambiente químico en el encéfalo. El procedimiento de muestreo, conocido como punción lumbar, se realiza generalmente extrayendo líquido del espacio subaracnoideo entre las vértebras en el extremo inferior de la médula espinal. La presencia de proteínas o eritrocitos en el LCR sugiere infección.

La **hidrocefalia** es una dilatación de los ventrículos cerebrales a causa de un acumulo excesivo de LCR en ellos. Puede producirse por un aumento de su producción, por falta de reabsorción o por algún objeto que obstaculiza su circulación. El tratamiento quirúrgico generalmente consiste en la implantación de una prótesis valvular para drenar el LCR.

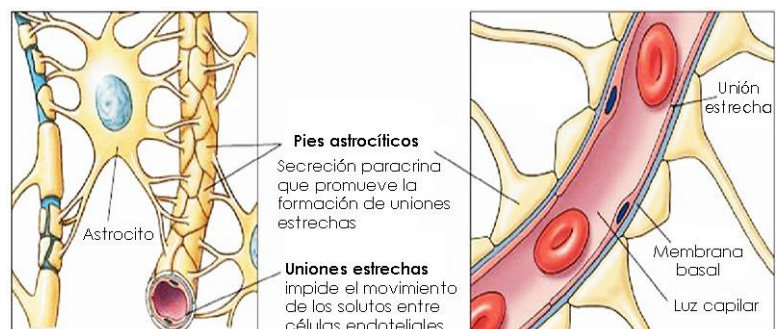
5.3.3. BARRERA HEMATOENCEFÁLICA

La capa final de protección para el encéfalo es una barrera funcional entre el líquido intersticial y la sangre. Esta barrera es necesaria para aislar el principal centro de control del cuerpo de sustancias potencialmente nocivas en la sangre y de patógenos transportados por ella, por ejemplo bacterias. Para lograr esta protección, la mayoría de los 600 Km de capilares encefálicos tienen una **barrera hematoencefálica** funcional. Aunque no es literalmente una barrera, la permeabilidad selectiva de los capilares encefálicos protege al encéfalo de toxinas y de fluctuaciones en hormonas, iones y sustancias neuroactivas como neurotransmisores en la sangre.

En la mayoría de los capilares, las uniones permeables intercelulares y los poros permiten el libre intercambio de solutos entre el plasma y el líquido intersticial. Pero en los capilares encefálicos, las células endoteliales forman uniones estrechas entre ellas, uniones que impiden el movimiento de solutos entre las células. Al parecer, la formación de uniones estrechas es inducida por señales paracrinas provenientes de astrocitos adyacentes, cuyas prolongaciones parecidas a pies rodean a los capilares.

La permeabilidad selectiva de la barrera hematoencefálica puede atribuirse a sus propiedades de transporte. El endotelio capilar utiliza transportadores y canales de membrana selectivos para trasladar nutrientes (*glucosa*) y otros materiales útiles desde la sangre hacia el líquido intersticial encefálico. Otros transportadores extraen los desechos desde el líquido intersticial hacia el plasma. Si una molécula hidrosoluble no es transportada sobre uno de estos transportadores no puede atravesar la barrera hematoencefálica.

Aunque la barrera hematoencefálica excluye a muchas sustancias hidrosolubles, las moléculas liposolubles más pequeñas pueden difundir a través de las membranas celulares. Esta es la razón de por qué algunos antihistamínicos pueden producir sueño pero otros no lo hacen.



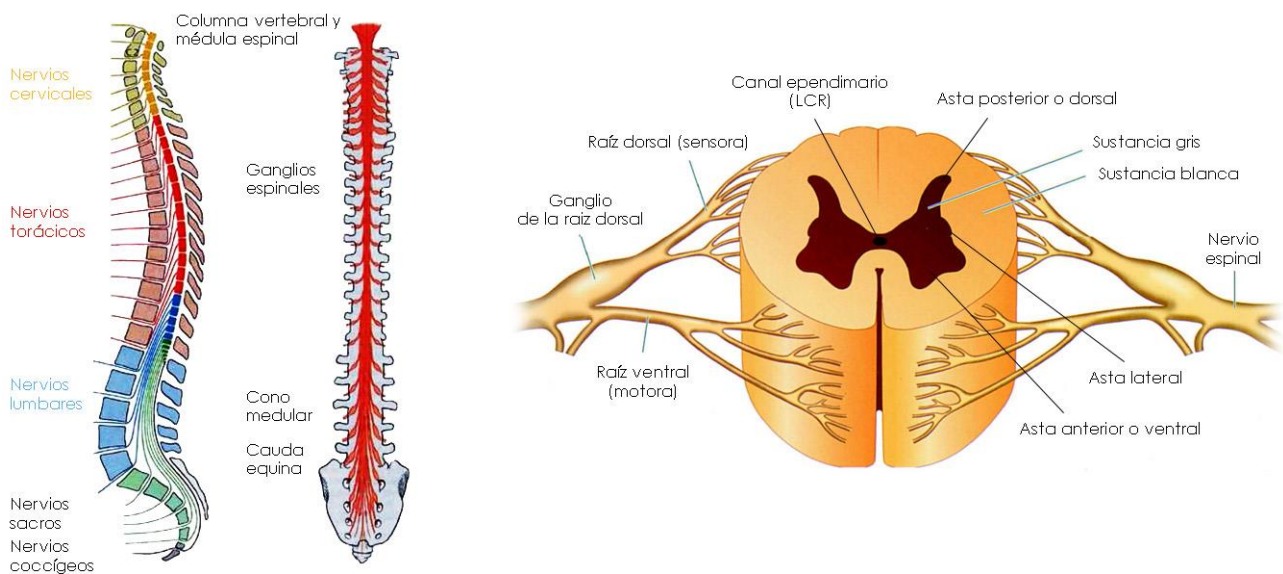
TEMA 6. MÉDULA ESPINAL

6.1. ESTRUCTURA DE LA MÉDULA ESPINAL

La **médula espinal** es la principal vía para el flujo de información en ambos sentidos entre el encéfalo y la piel, las articulaciones y los músculos del cuerpo. Además, la médula espinal contiene redes neurales responsables de la locomoción. Si se secciona la médula espinal, se produce una pérdida de la sensibilidad de la piel y los músculos y una parálisis, que es la pérdida de la capacidad para controlar voluntariamente los músculos.

La médula espinal está dividida en cuatro regiones (*cervical, torácica, lumbar y sacra*), nombres que corresponden a las vértebras correspondientes. Cada región medular está subdividida en segmentos y cada segmento da origen a un par de **nervios espinales**. Poco antes de que un nervio espinal se una con la médula espinal, se divide en dos ramas llamadas **raíces**.

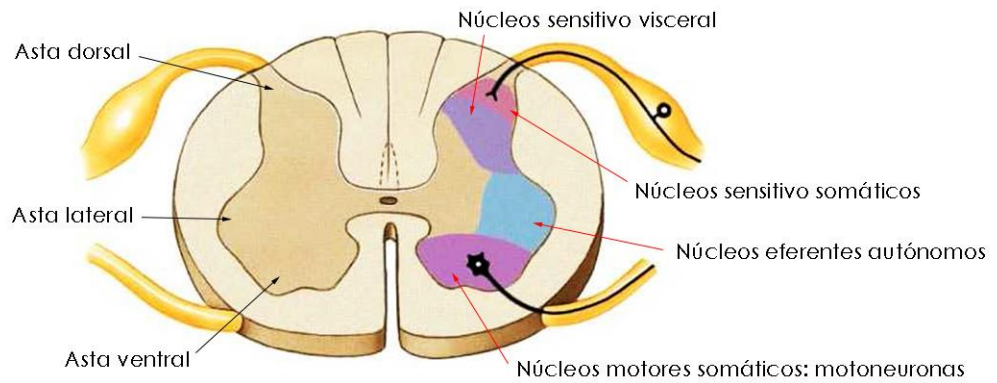
La **raíz dorsal** de cada nervio espinal se especializa en llevar la información sensitiva entrante. Los ganglios de la raíz dorsal, protuberancias en las raíces dorsales inmediatamente antes de que entren en la médula, contienen los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas. La **raíz ventral** transporta información desde el sistema nervioso central hasta los músculos y glándulas.



6.1.1. SUSTANCIA GRIS

En el corte transversal, la médula espinal tiene un centro de sustancia gris con forma de mariposa o de H y un reborde circundante de sustancia blanca. Las fibras sensitivas provenientes de las raíces dorsales hacen sinapsis con interneuronas en las **astas dorsales** de la sustancia gris. Los cuerpos de las células del asta dorsal están organizados en dos núcleos distintos, uno para la información somática y uno para la información visceral.

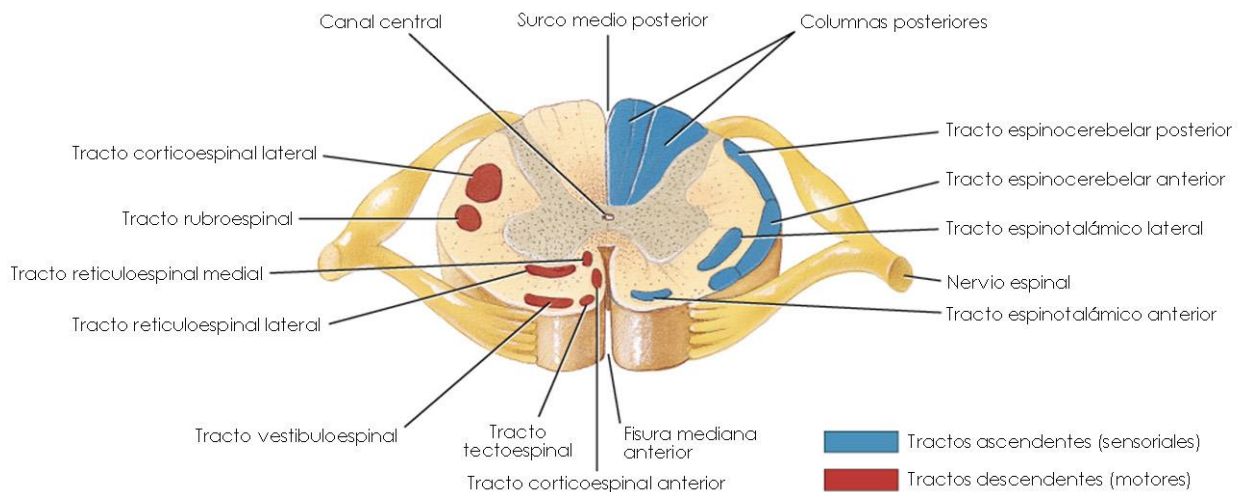
Las **astas ventrales** de la sustancia gris contienen los cuerpos celulares de las neuronas motoras que transportan señales eferentes hacia los músculos y las glándulas. Las astas ventrales están organizadas en los núcleos motores somáticos y autónomos. Las fibras eferentes abandonan la médula espinal a través de la raíz ventral.



6.1.2. SUSTANCIA BLANCA

La sustancia blanca de la médula espinal es el equivalente biológico de los cables de fibra óptica que utilizan las compañías telefónicas para transmitir nuestros sistemas de comunicación. La sustancia blanca puede dividirse en varias **columnas** compuestas por tractos de axones que transfieren la información en sentido ascendente o descendente por el cordón.

- Los **tractos ascendentes** llevan la información sensitiva hasta el encéfalo. Ocupan las porciones dorsal y lateral externa de la médula espinal.
- Los **tractos descendentes** transportan señales principalmente eferentes (*motoras*) desde el encéfalo hasta la médula espinal. Ocupan las porciones ventral y lateral interior de la sustancia blanca.
- Otro grupo interconecta segmentos medulares entre sí (**interneuronas**): transmiten y modifican.



Tractos sensitivos	Tractos motores
Columnas posteriores.	Corticoespinal
Espinocerebelar anterior.	Rubroespinal
Espinocerebelar posterior	Retículo espinal medial
Espinotalámico lateral	Retículo espinal lateral
Espinotalámico anterior.	Vestíbulo espinal
	Tectoespinal

6.2. FUNCIONES DE LA MÉDULA ESPINAL

La médula espinal puede funcionar como un centro integrador autocontenido para los reflejos medulares simples, en el que las señales pasan desde una neurona sensitiva a través de la sustancia gris hasta una neurona eferente. Además, las interneuronas medulares pueden llevar información sensitiva hacia el encéfalo a través de tractos ascendentes o llevar órdenes desde el encéfalo hacia las neuronas motoras. En muchos casos, las interneuronas también modifican la información que llega a ellas. Los reflejos desempeñan un papel crítico en la coordinación del movimiento.

- Principal vía para el flujo de información entre piel, articulaciones, músculos y encéfalo.
- Sede de reflejos espinales.
- Contiene redes neuronales responsables de la locomoción.
- Sección medular: causa pérdida de la sensibilidad y parálisis.

TEMA 7. ENCÉFALO

7.1. DIVISIONES Y ESTRUCTURAS RELACIONADAS

o Tronco encefálico

- Estructuras Asociadas
 - Formación reticular
 - Pares craneales
- Bulbo raquídeo
- Protuberancia
- Mesencéfalo

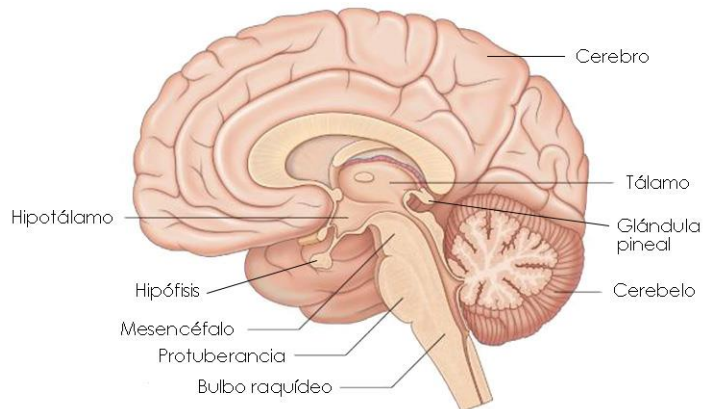
o Diencéfalo

- Tálamo
- Hipotálamo
- Hipófisis
- Glándula pineal

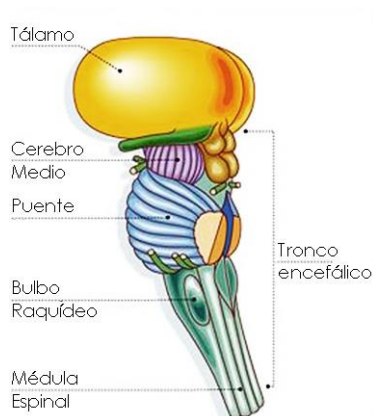
o Cerebelo

o Cerebro

- Corteza
- Ganglios basales
- Sistema límbico



7.2. TRONCO ENCEFÁLICO



El **tronco encefálico** es la región más antigua y primitiva del encéfalo. Puede ser dividido en sustancia blanca y sustancia gris (*de límites difusos*) y en cierta forma su anatomía es similar a la de la médula espinal. Algunos tractos ascendentes de la médula espinal atraviesan el tronco encefálico, mientras que otros hacen sinapsis allí. Los tractos descendentes de los centros encefálicos superiores también discurren a través del tronco encefálico en su camino hacia la médula espinal.

Los pares de nervios periféricos se ramifican al salir del tronco encefálico, de forma similar a los nervios espinales a lo largo de la médula espinal. Once de los 12 nervios craneales (*números II-XII*) se originan a lo largo del tronco encefálico. Los nervios craneales transmiten información sensitiva y motora para la cabeza y el cuello y se describen según que incluyan fibras sensitivas, fibras eferentes o ambas (*nervios mixtos*). Un componente importante de un examen neurológico clínico es el examen de las funciones controladas por estos nervios.

Localizados en todo el tronco encefálico se encuentran grupos separados de cuerpos de células nerviosas (*núcleos*). Muchos de estos núcleos se asocian con la formación reticular, una colección difusa de neuronas que se extiende a través de todo el tronco encefálico. El nombre reticular deriva de "red" y se refiere a los axones entrelazados que se ramifican profusamente hacia arriba a las secciones superiores del encéfalo y hacia abajo a la médula espinal. Los núcleos en el tronco encefálico participan en muchos procesos básicos, que incluyen los estados de vigilia y sueño, el tono muscular y los reflejos de estiramiento, la coordinación de la respiración, la regulación de la presión arterial y la modulación del dolor.

Comenzando en la médula espinal y en dirección a la parte superior del cráneo, el tronco encefálico incluye el bulbo raquídeo, la protuberancia y el mesencéfalo.

Número	Nombre	Tipo	Función
I	Olfatorio	Sensitivo	Información olfativa (olfato) proveniente de la nariz
II	Óptico	Sensitivo	Información visual provenientes de los ojos
III	Oculomotor (Motor ocular común)	Motor	Movimiento ocular, constricción pupilar, forma del cristalino
IV	TrocLEAR (Patético)	Motor	Movimiento ocular
V	Trigémino	Mixto	Información sensitiva del rostro y la boca; señales motoras para la masticación.
VI	Abducens (Motor ocular externo)	Motor	Movimiento ocular
VII	Facial	Mixto	Sensorial para el gusto; señales eferentes para glándulas lagrimales y salivales, expresión facial
VIII	Vestibulococlear (Auditivo)	Sensitivo	Audición y equilibrio
IX	Glossofaríngeo	Mixto	Sensitivo para la cavidad oral; barorreceptores y quimiorreceptores en vasos sanguíneos; eferente para la deglución, secreción de la glándula salival parótida
X	Vago	Mixto	Sensitivo y eferentes para muchos órganos internos, músculos y glándulas
XI	Espinal accesorio	Motor	Músculos de la cavidad bucal, algunos músculos en el cuello y el hombro
XII	Hipogloso	Motor	Músculos de la lengua

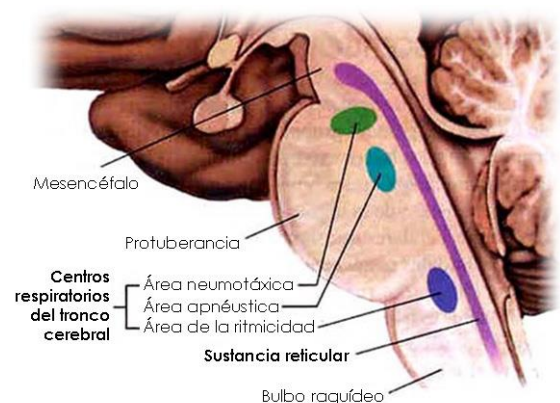
7.2.1. BULBO RAQUÍDEO

El bulbo raquídeo, con frecuencia llamado solo bulbo, es la transición de la médula espinal al cerebro. Su sustancia blanca incluye los **tractos somatosensitivos** ascendentes que llevan información sensitiva hacia el cerebro y los **tractos corticoespinales** descendentes que transmiten la información desde el cerebro hacia la médula espinal. Hasta el 90% de los tractos corticoespinales atraviesan la línea media hasta el lado opuesto del cuerpo en una región del bulbo raquídeo conocida como las **pirámides**. Como resultado de este entrecruzamiento, cada lado del encéfalo controla el lado opuesto del cuerpo.

La sustancia gris del bulbo raquídeo incluye los núcleos que controlan muchas funciones involuntarias, como la presión arterial, la respiración, la deglución y los vómitos.

7.2.2. PROTUBERANCIA

La protuberancia o puente es una protrusión bulbosa sobre la cara ventral del tronco encefálico por encima del bulbo y por debajo del mesencéfalo. Como su función primaria es actuar como estación de relevo para la transferencia de información entre el cerebro y el cerebelo, la protuberancia a menudo se estudia junto con el cerebelo. La protuberancia también coordina el control de la respiración con los centros en el bulbo raquídeo.



7.2.3. MESENCÉFALO

La tercera región del tronco encefálico, el mesencéfalo, es un área relativamente pequeña que se ubica entre el tronco encefálico inferior y el diencefalo. La función primaria del mesencéfalo es controlar el movimiento ocular, pero también transmite señales para los reflejos auditivos y visuales.

En el techo del mesencéfalo se encuentran los colículos.

7.3. DIENCÉFALO

El diencefalo se ubica entre el tronco encefálico y el cerebro. Está compuesto por dos secciones principales (*el tálamo y el hipotálamo*) y dos estructuras endocrinas (*las glándulas hipófisis y pineal*).

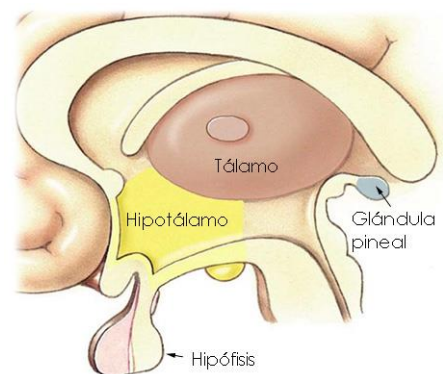
7.3.1. TÁLAMO

La mayor parte del diencefalo está ocupada por muchos núcleos pequeños que forman el **tálamo**. El tálamo recibe fibras sensitivas del tracto óptico, los oídos y la médula espinal e información motora del cerebelo. Proyecta fibras hacia el cerebro, donde se procesa la información.

El tálamo a menudo es descrito como una estación de relevo porque casi toda la información sensitiva proveniente de las partes inferiores del SNC pasa a través de él. Al igual que la médula espinal, el tálamo puede modificar la información que lo atraviesa, lo que lo convierte en un centro integrador y una estación de relevo.

Tálamo posterior:

- Cuerpos geniculados laterales (*visión*).
- Cuerpos geniculados mediales (*audición*).



7.3.2. HIPOTÁLAMO

El **hipotálamo** yace debajo del tálamo. Aunque el hipotálamo ocupa menos del 1% del volumen encefálico total, es el centro de la homeostasis y contiene centros para varios impulsos conductuales, como el hambre y la sed. Las eferencias del hipotálamo también influyen en muchas funciones de la división autónoma del sistema nervioso y en distintas funciones endocrinas. El hipotálamo recibe aferencias de múltiples orígenes, que incluyen el cerebro, la formación reticular y distintos receptores sensitivos. Las eferencias del hipotálamo se dirigen primero hacia el tálamo y finalmente a múltiples vías eefectoras.

Regula la homeostasis a través del:

- Control de la osmolaridad (*osmoreceptores*)
- Control de la temperatura
- Control ingesta / saciedad
- Controla el sistema nervioso autónomo (*SNA*)
- Conducta y emociones (*a través de conexiones con el sistema límbico*)
- Controla la secreción de las glándulas hipófisis y pineal

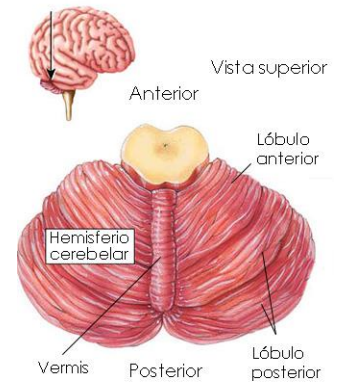
7.4. CEREBELO

El **cerebelo** es la segunda estructura más grande en el encéfalo. Se localiza en la base del cráneo, inmediatamente por encima de la nuca. Al cerebelo se le denomina área silenciosa.

La función especializada del cerebelo es procesar la información sensitiva y coordinar la ejecución del movimiento. Las aferencias sensitivas del cerebelo provienen de receptores somáticos en la periferia del cuerpo y de receptores para el equilibrio localizados en el oído interno. El cerebelo también recibe aferencias motoras de neuronas en el cerebro.

Supervisa los movimientos durante la ejecución. Si no coinciden, envía señales correctoras para incrementar o disminuir los niveles de activación de músculos específicos. Ayuda a la corteza cerebral a planear el siguiente movimiento.

También interviene en el control de la postura.



7.5. CORTEZA CEREBRAL

7.5.1. ORGANIZACIÓN

El **cerebro** es la porción más característica del encéfalo humano y llena la mayor parte de la cavidad craneal. Está compuesto por dos hemisferios conectados principalmente por el **cuerpo calloso**, una estructura distinta formada por axones que van de un lado al otro del cerebro. Esta conexión asegura que los dos hemisferios cerebrales se comuniquen y cooperen entre sí. Cada hemisferio cerebral está dividido en varios lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, y lóbulo de la ínsula.

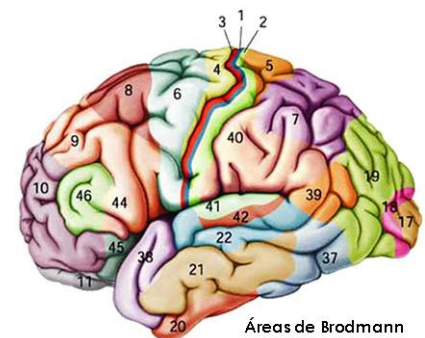
La superficie del cerebro tiene aspecto de nuez con depresiones denominadas surcos que dividen las circunvoluciones denominadas giros. Durante el desarrollo, el cerebro crece más rápido que el cráneo circundante lo que hace que el tejido se pliegue sobre sí mismo para ajustarse a un volumen más pequeño y aumentar más la superficie.

El cerebro tiene distintas regiones de sustancia gris y sustancia blanca. La sustancia gris puede ser dividida en tres regiones principales: la corteza cerebral, los ganglios basales y el sistema límbico.

La corteza cerebral (*cortex*) es la capa externa del cerebro y sólo tiene algunos milímetros de espesor. Tiene una superficie aproximada de 2200 cm².

Las neuronas de la corteza cerebral están dispuestas en columnas verticales y capas horizontales anatómicamente reconocibles. De estas capas surgen nuestras funciones cerebrales superiores. Histológicamente:

- 90% pertenece al neocortex (*hasta 6 láminas*).
- 10% paleocortex y arquicortex (*no laminar*).



7.5.2. FUNCIONES

La corteza cerebral está organizada en áreas funcionales. La corteza cerebral sirve como centro integrador de la información sensitiva y como región de toma de decisiones para muchos tipos de eferencias motoras. Si se examina la corteza desde un punto de vista funcional, se puede dividir en tres especializaciones:

- 1) **Áreas sensitivas** (también denominadas campos sensitivos), que reciben aferencias sensitivas o sensoriales y las traducen en percepción (conciencia).
- 2) **Áreas motoras**, que dirigen el movimiento de los músculos esqueléticos.
- 3) **Áreas de asociación** (cortezas de asociación), que integran la información proveniente de las áreas sensitivas y motoras y pueden dirigir las conductas voluntarias. Análisis más complejo, memoria, lenguaje, etc.

La información que pasa a lo largo de una vía suele ser procesada en más de una de estas áreas.

RECEPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SENSITIVA

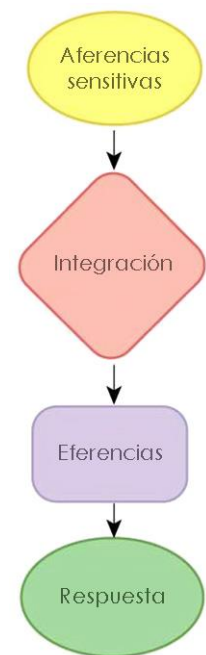
El sistema sensitivo monitoriza los medios interno y externo y envía información a los centros integradores neurales, los que a su vez inician las respuestas apropiadas. Los reflejos más simples pueden ser integrados en la médula espinal, sin aferencias provenientes de los centros encefálicos superiores. Sin embargo, incluso los reflejos espinales simples suelen enviar información sensitiva al encéfalo, lo que crea la percepción del estímulo.

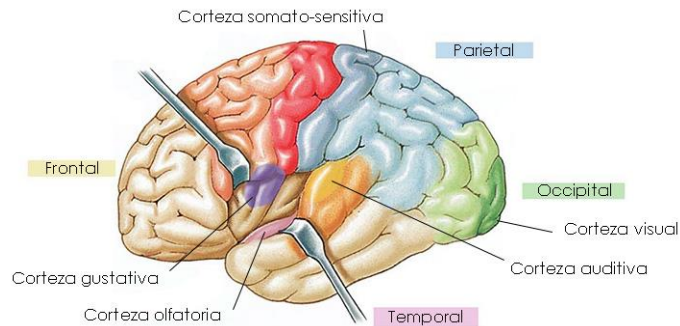
La información sensitiva que viene del cuerpo discurre por vías ascendentes hasta el encéfalo. La información sobre la posición y el movimiento de los músculos y las articulaciones se dirige al cerebelo y a la corteza cerebral, lo que permite que el cerebelo ayude con la coordinación subconsciente automática del movimiento. La mayor parte de la información sensitiva continúa su tránsito a la corteza cerebral, donde cinco áreas sensitivas procesan la información.

La **corteza somatosensitiva primaria** en el lóbulo parietal es el punto terminal de las vías provenientes de la piel, el sistema muculoesquelético y las vísceras. Las vías somatosensitivas transportan información acerca del tacto, temperatura, dolor, prurito y posición corporal. El daño de esta parte del cerebro produce una reducción de la sensibilidad de la piel del lado opuesto del cuerpo porque las fibras sensitivas cruzan hacia el lado opuesto de la línea media a medida de ascienden a través de la médula o el bulbo.

Los sentidos especiales (*visión, audición, gusto y olfato*) tienen, cada uno, diferentes regiones encefálicas dedicadas al procesamiento de sus aferencias sensitivas.

- La **corteza visual**, localizada en el lóbulo occipital, recibe información de los ojos.
- La **corteza auditiva**, localizada en el lóbulo temporal, recoge información de los oídos.
- La **corteza olfatoria** (*u olfativa*), una pequeña región en el lóbulo temporal, recibe aferencias de quimiorreceptores en la nariz.
- La **corteza gustativa**, más profunda en el encéfalo cerca del borde del lóbulo frontal, recibe información sensitiva de las papilas gustativas.





TRANSFORMACIÓN DE LA INFORMACIÓN SENSITIVA EN PERCEPCIÓN

Una vez que la información sensitiva alcanza el área cortical apropiada, comienza el procesamiento de la información. Las vías neurales se extienden desde las áreas sensitivas hasta las áreas de asociación apropiadas, las cuales integran los estímulos somáticos, visuales, auditivos y de otro tipo en **percepción**, la interpretación cerebral de los estímulos sensitivos.

A menudo el estímulo percibido es muy diferente del estímulo real. Por ejemplo, los fotorreceptores del ojo reciben ondas luminosas de diferentes frecuencias, pero nosotros percibimos las diferentes energías de onda como diferentes colores. Asimismo, el cerebro traduce las ondas de presión que golpean el oído en sonido y transforma la unión de sustancias químicas a los quimiorreceptores en sensaciones de gusto u olfato.

Un aspecto interesante de la percepción es la forma en que nuestro cerebro llena la información faltante para crear un cuadro completo o traduce un dibujo bidimensional en una forma tridimensional. Así, a veces percibimos lo que nuestro encéfalo espera percibir. Nuestra traducción perceptiva de los estímulos sensoriales permite actuar sobre la información y utilizarla en el control motor voluntario o en funciones cognitivas complejas como el lenguaje.

DIRIGE EFERENCIAS

Procesada la información, e interpretada, la corteza elabora respuestas conducidas por eferencias motoras de tres tipos:

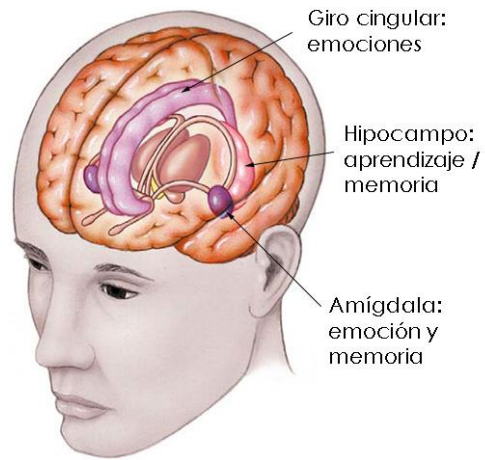
- 1) **Movimiento del músculo esquelético**, controlado por la división motora somática. Los movimientos voluntarios se inician en la corteza motora primaria y área de asociación motora, a través de las motoras, neuronas eferentes largas (*células piramidales*) hasta la médula espinal.
- 2) **Respuestas neuroendocrinas**: las neurohormonas secretadas en la sangre por neuronas localizadas principalmente en el hipotálamo y la médula suprarrenal.
- 3) **Respuestas viscerales**: las acciones del músculo liso y cardiaco o las glándulas endocrinas y exocrinas. Las respuestas viscerales están gobernadas por la división autónoma del sistema nervioso.

7.5.3. ESTRUCTURAS RELACIONADAS

La segunda región de la sustancia gris son los **ganglios basales** que participan en el control del movimiento.

La tercera región es el **sistema límbico**, que rodea al tronco encefálico. Es probable que el sistema límbico represente la región más primitiva del cerebro. Actúa como el nexo entre las funciones cognitivas superiores,

como el razonamiento, y las respuestas emocionales más primitivas, como el miedo. Las áreas principales del sistema límbico son la **amígdala** y el **giro cingular** (*circunvolución del cuerpo calloso*), que están relacionados con la emoción y la memoria, y el **hipocampo**, que se asocia con el aprendizaje y la memoria.



TEMA 8. SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

8.1. INTRODUCCIÓN

La división eferente del sistema nervioso periférico puede subdividirse en neuronas motoras somáticas, que controlan a los músculos esqueléticos, y neuronas autónomas, que regulan la actividad del músculo liso, el músculo cardíaco, numerosas glándulas y parte del tejido adiposo. A las divisiones somática y autónoma a veces se las denomina divisiones voluntaria e involuntaria del sistema nervioso, respectivamente. Sin embargo, aunque es verdad que el movimiento regulado por las vías somáticas suele ser consciente y que los reflejos autónomos son involuntarios, esta diferenciación no siempre es totalmente correcta. Por ejemplo, algunos reflejos en los que participan los músculos esqueléticos, como el reflejo deglutorio o el rotuliano, son involuntarios. Y una persona puede entrenarse con técnicas de retroalimentación para aprender a regular algunas funciones autónomas involuntarias, como la frecuencia cardíaca y la presión arterial.

8.2. SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

La división autónoma del sistema nervioso eferente (o *sistema nervioso autónomo*), también denominada sistema nervioso vegetativo, es el sistema especializado en el ajuste automático e inconsciente.

El sistema nervioso autónomo tiene una porción sensitiva y una porción motora.

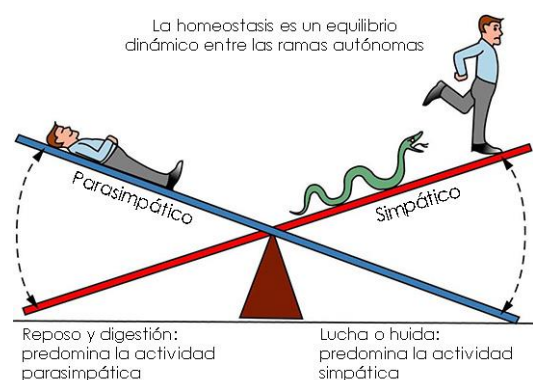
Funciona mediante centros de control integrados en el tronco encefálico y la médula espinal sin control consciente.

El sistema nervioso autónomo se subdivide en las divisiones **simpática** y **parasimpática**. Aunque las divisiones simpática y parasimpática pueden distinguirse anatómicamente; no existe una manera simple de separar las acciones de las dos ramas sobre sus órganos diana. La mejor generalización es caracterizarlas de acuerdo con el tipo de situación en las que son más activas.

- La porción eferente del SNA inerva el músculo cardíaco, músculo liso y tejidos glandulares. Está anatómicamente organizada en:
 - Neurona preganglionar
 - Neurona postganglionar
 - Sinapsis ganglionar
- Porción aferente (*nervios somáticos*).

La escena del almuerzo campestre ilustra los dos extremos en los que funcionan las divisiones simpática y parasimpática. Al reposar tranquilamente después de una comida, la división parasimpática es la que domina y toma el mando de las actividades tranquilas y rutinarias de la vida diaria, como la digestión. Es por esto que a veces se dice que las neuronas parasimpáticas controlan "el reposo y la digestión".

En cambio, la división simpática controla en las situaciones de estrés, como el riesgo potencial que implica la serpiente. Uno de los ejemplos más claros de la acción simpática es la respuesta de **lucha o huida**, en la que el cerebro libera una descarga simpática masiva y simultánea a todo el cuerpo. Cuando el cuerpo se prepara para luchar o huir el corazón se acelera, los vasos sanguíneos de los músculos de los miembros, tanto superiores como inferiores, y del corazón se dilatan y el



hígado comienza a producir glucosa para proveer energía para la contracción muscular. La digestión pierde importancia cuando la vida y una extremidad están en peligro y, por lo tanto, la sangre se desvía desde el aparato digestivo a los músculos esqueléticos.

- **Inervación simultánea antagónica.** La mayoría de órganos internos se encuentran bajo control antagonista, en el que una de las ramas autónomas es excitadora y la otra es inhibidora. Por ejemplo la inervación simpática aumenta la frecuencia cardíaca mientras que la parasimpática la disminuye. En consecuencia, la frecuencia cardíaca puede ser regulada modificando las proporciones relativas del control simpático y parasimpático.
- **Inervación simultánea sinérgica.** Aunque las dos ramas autónomas suelen ser antagonistas en relación con el control de un tejido determinado, a veces actúan en forma coordinada sobre diferentes tejidos para lograr un objetivo común. Por ejemplo la secreción de las glándulas salivales; Tanto el simpático como el parasimpático activan la producción de saliva, aunque la saliva producida por el simpático es diferente a la del parasimpático.
- **Cada división una estructura distinta y funciones opuestas.** Hay órganos donde la inervación simpática y parasimpática actúa sobre estructuras diferentes, por ejemplo en la pupila. Una actúa sobre el músculo dilatador y la otra sobre el esfínter pupilar.
- **Única división y un único efecto.** A veces no todos los órganos tienen las dos divisiones inervándolos, por ejemplo las glándulas lacrimales. La producción de lágrimas esta solamente mediada por el sistema autónomo parasimpático.
- **Única división y efectos diferentes.** En algunas vías autónomas, el receptor para los neurotransmisores determina la respuesta del órgano diana. Por ejemplo, la mayoría de los vasos sanguíneos contienen un tipo de receptor que produce la contracción de músculo liso (*vasoconstricción*). Sin embargo, algunos vasos también contienen un segundo tipo de receptor que hace que el músculo liso se relaje (*vasodilatación*).

8.3. ORGANIZACIÓN ANATÓMICA DEL SNA

Todas las vías autónomas (*simpática y parasimpática*) constan de dos neuronas en serie. La primera neurona, denominada **neurona preganglionar**, se origina en el sistema nervioso central y se proyecta hacia el **ganglio autónomo** localizado fuera del SNC. Ahí, la neurona preganglionar hace sinapsis con la segunda neurona de la vía, la **neurona posganglionar**. Esta neurona tiene su cuerpo dentro del ganglio y proyecta su axón hacia el tejido diana. (*Un ganglio es un conjunto de cuerpos de células nerviosas que se encuentran fuera del SNC. El equivalente en el SNC es un núcleo*).

La divergencia es una característica importante en las vías autónomas. Cada neurona posganglionar puede inervar diferentes tejidos, lo que significa que una única señal proveniente del SNC puede afectar a gran cantidad de células diana en forma simultánea.

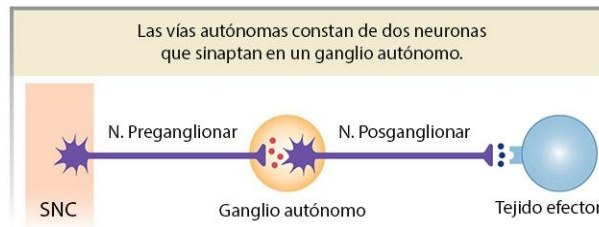
Entonces, ¿en qué se diferencian las dos ramas autónomas desde el punto de vista anatómico? Las principales diferencias son:

- 1) El sitio en el que se originan dentro del SNC.
- 2) La localización de los ganglios autónomos.

La mayoría de las vías simpáticas se originan en las regiones torácica y lumbar de la médula espinal. Los ganglios simpáticos se encuentran principalmente en dos cadenas que corren a cada lado de la columna vertebral, con ganglios adicionales a lo largo de la aorta descendente. De estos ganglios salen nervios largos (*axones de las neuronas posganglionares*) que se dirigen hacia los tejidos diana. Debido a que la mayoría de los ganglios simpáticos se ubican cerca de la médula espinal, las vías simpáticas por lo general tienen neuronas preganglionares cortas y neuronas posganglionares largas.

Muchas de las vías parasimpáticas se originan en el tronco encefálico y sus axones dejan el cerebro a través de varios nervios craneales. Otras vías parasimpáticas nacen en la región sacra y regulan los órganos pelvianos. En general, los ganglios parasimpáticos se localizan tanto sobre los órganos diana como cerca de ellos. En consecuencia, las neuronas preganglionares parasimpáticas tienen axones largos y las neuronas posganglionares tienen axones cortos.

La neurona posganglionar va a ser la que module la acción sobre el tejido efector.

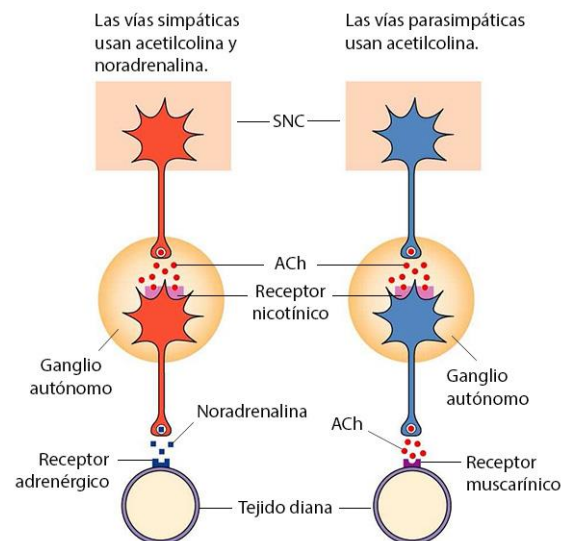


8.4. NEUROTRANSMISORES EN EL SNA

Los neurotransmisores autónomos se sintetizan en el axón. Los principales neurotransmisores son la acetilcolina (ACh) y la noradrenalina, que son moléculas pequeñas sintetizadas con facilidad por las enzimas citoplasmáticas. Los neurotransmisores fabricados en las varicosidades se almacenan dentro de las vesículas sinápticas.

Las vías simpáticas secretan catecolaminas que se unen con los receptores adrenérgicos de las células efectoras. Estos receptores son de dos tipos, los α (*alfa*) y los β (*beta*), y cada uno de ellos tienen varios subtipos.

Las neuronas parasimpáticas liberan acetilcolina en sus efectores. Los receptores colinérgicos muscarínicos se encuentran en las uniones neuroefectoras de la división parasimpática.

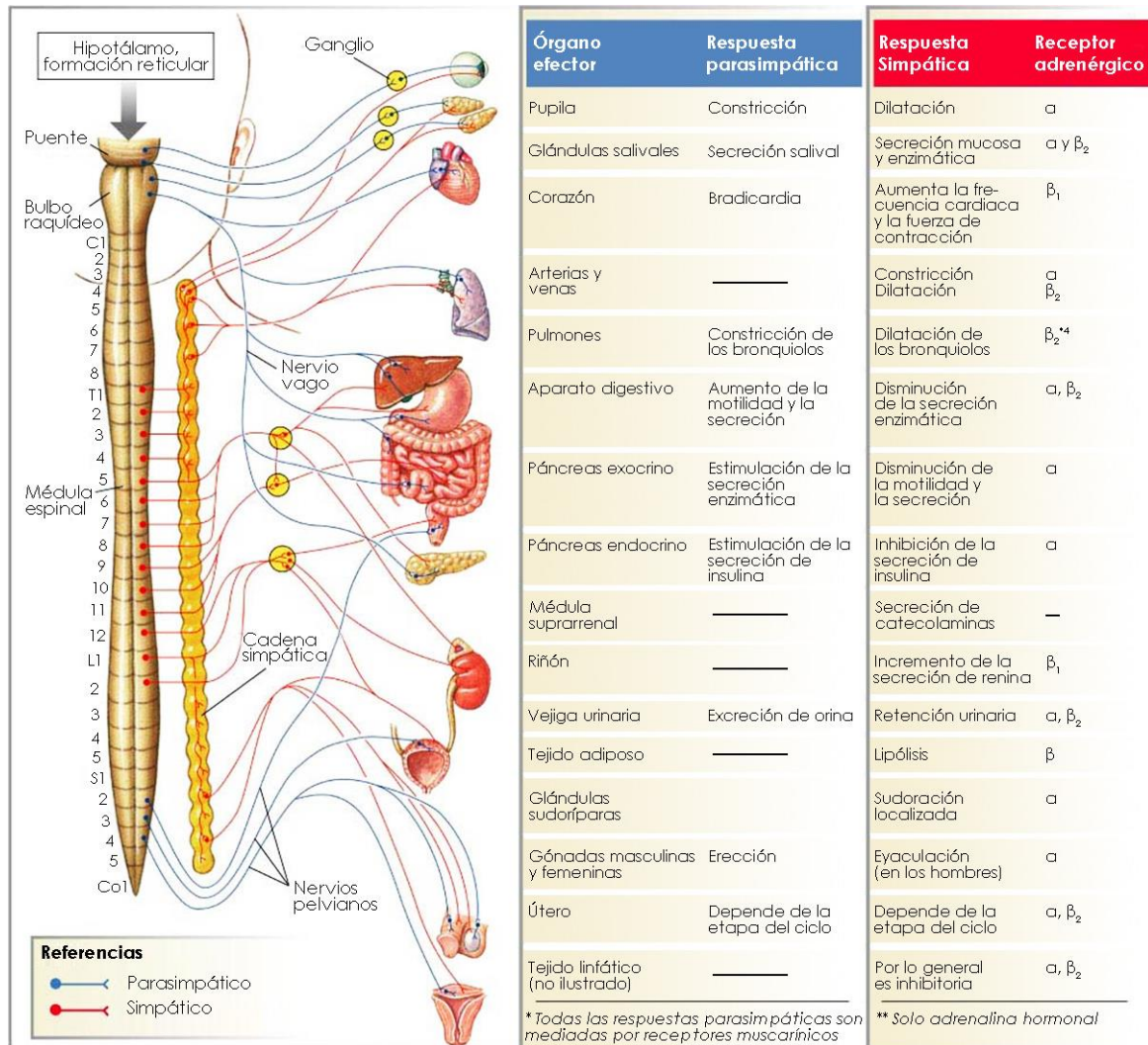


8.5. RESUMEN DE LAS DIVISIONES SIMPÁTICA Y PARASIMPÁTICA

Las ramas del sistema nervioso autónomo comparten algunas características pero se diferencian por otras.

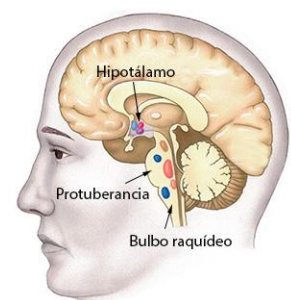
1. Tanto la vía simpática como la parasimpática están formadas por dos neuronas (*preganglionar* y *posganglionar*) dispuestas en serie. Una excepción a esta regla es la médula suprarrenal, en la que las neuronas simpáticas posganglionares se han convertido en un órgano neuroendocrino.
2. Todas las neuronas autónomas preganglionares secretan acetilcolina sobre los receptores nicotínicos. La mayoría de las neuronas simpáticas secretan noradrenalina sobre los receptores adrenérgicos. La mayoría de las neuronas parasimpáticas secretan acetilcolina sobre los receptores muscarínicos.
3. Las vías simpáticas se originan en las regiones torácica y lumbar de la médula espinal. La mayoría de los ganglios simpáticos se localizan cerca de la médula espinal (*son paravertebrales*). Las vías parasimpáticas dejan el SNC a nivel del tronco encefálico y en la región sacra de la médula espinal. Los ganglios parasimpáticos se ubican cerca de sus tejidos efectores o sobre ellos.

4. La división simpática controla las funciones que son necesarias en las situaciones de estrés o en las emergencias (*lucha o huida*). La división parasimpática domina durante las actividades de reposo y digestión.



8.6. CENTROS ENCEFÁLICOS DE CONTROL AUTÓNOMO

- Información sensitiva desde receptores somáticos y viscerales a centros de control **hipotálamo, bulbo y protuberancia** (*presión arterial, temperatura, equilibrio hídrico, conducta alimentaria, respiración*).
- Hipotálamo y Tronco encefálico: se generan respuestas motoras endocrinas y conductuales.
- Corteza y el sistema límbico** influyen funciones autónomas.



8.7. COMPARACIÓN ENTRE DIVISIONES SOMÁTICA Y AUTÓNOMA

	Somática	Autónoma
Neurona vía eferente	1	2
NT/RP en la sinapsis Neurona-célula diana	ACH/Nicotínico	ACH/Muscarínico NAd/a o β
Tejido diana	Músculo esquelético	Músculo liso y cardíaco Glándulas endocrinas y exocrinas Tejido adiposo
NT liberado en:	Terminales axónicos	Varicosidades y terminales axónicos
Efectos sobre el tejido diana	Solo excitatorio: contracción	Excitatorio o inhibitorio
Componentes periféricos fuera del SNC	Axones	Axones preganglionares, ganglios, neuronas posganglionares
Función	Postura y movimiento	Visceral: movimiento y secreción de órganos internos Control del metabolismo

TEMA 9. SISTEMAS SENSITIVOS

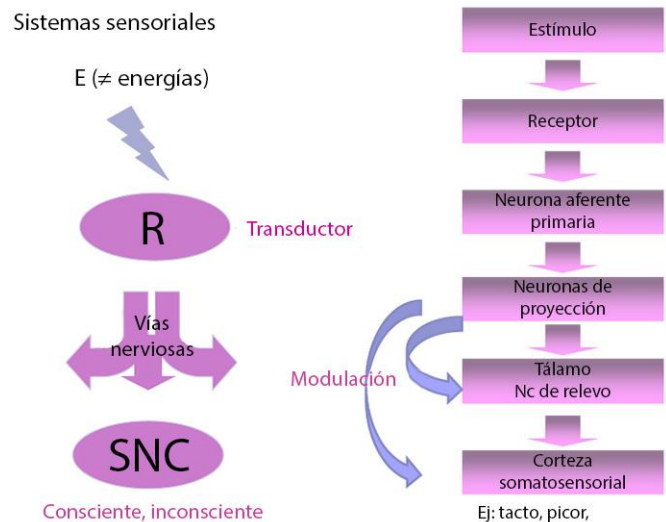
9.1. INTRODUCCIÓN

El entorno natural es, en esencia, un medio hostil y la supervivencia del individuo depende, en último término, de su capacidad para detectar en cada momento las condiciones de este medio y desarrollar respuestas adaptativas, frente a los cambios que se producen en el mismo. En realidad, la supervivencia del ser humano precisa esta capacidad de adaptación no sólo frente a las condiciones del medio externo, sino frente a los cambios que se producen en el propio organismo. Los sistemas sensoriales permiten a nuestro sistema neuroendocrino recoger esta información del entorno y del propio medio interno.

- La adaptación a cambios en el medio externo/interno requiere detectar cambios y desarrollar respuestas adaptativas: supervivencia.
- Los sistemas sensoriales recogen información del entorno y del medio interno segundo a segundo.
- La integración de información sensitiva en cerebro y médula espinal es esencial para mantenimiento de la homeostasis.

9.2. SISTEMAS SENSORIALES

Todas las vías sensitivas tienen ciertos elementos en común. Comienzan con un estímulo en forma de energía física que actúa sobre un receptor sensitivo. El receptor es un transductor que convierte el estímulo en una señal intracelular, habitualmente un cambio en el potencial de membrana. Si el estímulo está por encima del umbral, los potenciales de acción pasan por una neurona sensitiva y llegan hasta el SNC, donde integran las señales entrantes. Algunos estímulos pasan directamente a la corteza cerebral, donde alcanzan la percepción consciente, pero otros se procesan inconscientemente sin que nos demos cuenta. En cada sinapsis a lo largo de la vía, el sistema nervioso puede modular y dar forma a la información sensitiva.



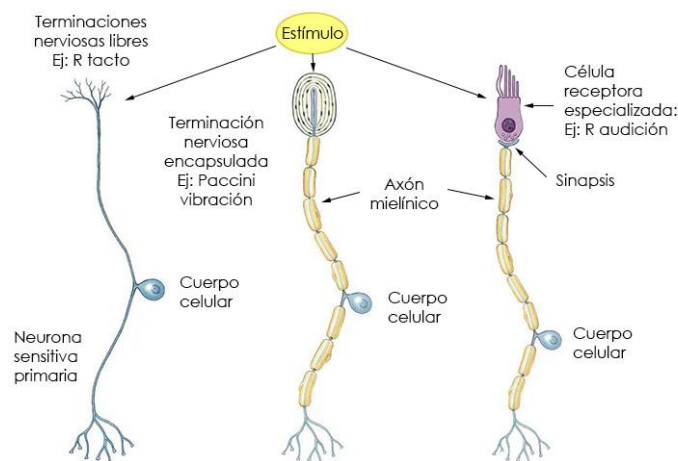
9.3. NEURORRECEPTORES

Los neurorreceptores son células que actúan como **transductores**, es decir, transforman estímulos de distinta naturaleza en potenciales de acción, o, dicho de otro modo, formas de energía diversas (*mecánica, térmica, química, electromagnética*) en energía eléctrica que puede ser interpretada y modificada por nuestro sistema nervioso. Por ejemplo, se reciben ondas electromagnéticas de distintas frecuencias que se perciben como colores o vibraciones que se perciben como sonidos. Los sabores, los olores, el color, tal y como se conocen, son sensaciones construidas por nuestro cerebro.

Los neurorreceptores pueden ser de diferente complejidad. Los más sencillos son terminaciones nerviosas libres; los más complejos, células especializadas no necesariamente de estirpe neural. Cada tipo de receptor está adaptado para responder a un estímulo adecuado: el umbral de respuesta (*intensidad mínima de*

estímulo necesario para generar un potencial de acción) es menor para esa forma de energía concreta (**ley de energías nerviosas específicas**). Cualquier receptor puede responder a un estímulo, con independencia de su naturaleza, si su intensidad es suficientemente elevada. Sin embargo, la sensación experimentada en este caso será la correspondiente al receptor estimulado y no al estímulo responsable.

Complejidad	Receptores	
↓	Receptores nerviosos simples	Terminaciones nerviosas libres
	Receptores nerviosos complejos	Terminaciones nerviosas encapsuladas
	Receptores especializados	Células especializadas que liberan NT hacia neuronas sensitivas



9.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS NEURORRECEPTORES

Una primera clasificación, absolutamente intuitiva, distinguirá los sentidos conscientes de aquellos que no lo son. Es evidente que aunque la información recogida por todos los receptores, es, de uno u otro modo, relevante para el individuo, no toda alcanza el plano de la consciencia.

	Especiales	Somáticos
Consciente	Visión, audición, gusto, olfato, equilibrio	Tacto, temperatura, dolor, prurito, propiocepción
Inconsciente	Presión arterial, distensión, gastrointestinal, temperatura, osmolaridad, pH LCR, pH sangre	Longitud/tensión muscular, propiocepción

La **clasificación tradicional** distingue:

- Sensibilidad cutánea (*piel*)
- Sensibilidad visceral (*percepción de medio interno*).
- Sensibilidad especial (*vista, olfato, gusto, oído, aceleración lineal y rotacional*).

Atendiendo al área específica de donde el receptor capta el estímulo (**campo receptivo**), los neurorreceptores pueden clasificarse en teleceptores, exteroceptores, interoceptores y propioceptores.

Neurorreceptores	Campo receptivo
Teleceptores	Información sobre eventos que suceden a distancia
Exteroceptores	Recepción de eventos en el entorno inmediato al individuo (Tacto, presión, vibración, temperatura, etc.)
Interoceptores	Receptores del medio interno (Osmorreceptores)
Propioceptores	Posición del cuerpo en el espacio (Receptores de músculos, tendones, articulaciones, oído interno)

Por último, se pueden clasificar basándose en la **naturaleza del estímulo** o **forma de energía** para la que responden de forma específica.

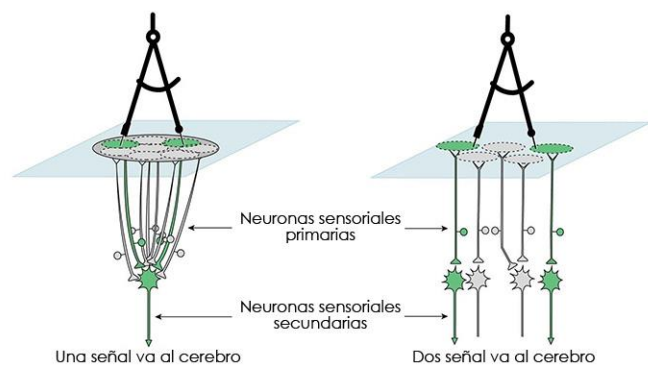
Forma de energía	Neurorreceptores	Detectan
Mecánica	Mecanorreceptores	Presión (barorreceptores), estiramiento, vibración, aceleración
Térmica	Termorreceptores	Variaciones del calor
Química	Quimiorreceptores	O ₂ , pH, moléculas orgánicas
Electromagnética	Fotorreceptores	Fotones de la luz
Estímulos peligrosos o nocivos	Nocirreceptores	Daño físico o químico

9.3.2. MECANISMOS DE TRANSDUCCIÓN

Al comienzo de esta sección, se afirmó que los neurorreceptores actúan como transductores, es decir, transformando estímulos de distinta naturaleza en potenciales de acción.

¿Cómo se produce la transducción de la señal? El estímulo produce la apertura de canales iónicos en la membrana del receptor, bien directamente, bien de forma indirecta mediante la generación de segundos mensajeros. La mayor parte de las veces se produce el paso de Na⁺ hacia el interior de la célula receptora, es decir, se produce una despolarización de su membrana. Solo ocasionalmente, se observa una salida neta de K⁺, con hiperpolarización del receptor. Estos cambios de su potencial de membrana se denominan **potenciales de receptor** o **potenciales generadores**. Son potenciales graduados, es decir, su magnitud es proporcional a la intensidad del estímulo que los origina. Cuando, por fenómenos de suma temporal y espacial, se alcanza un valor de potencial de membrana llamado valor **umbral**, se genera un potencial de acción en la neurona sensorial, con transmisión del estímulo.

Cada receptor recoge información de un área específica, denominada campo receptivo, que se superpone con el de receptores adyacentes. La información recogida por varias neuronas sensoriales primarias converge en una única neurona sensorial secundaria, conformando el campo receptivo de ésta, cuyo tamaño determina la sensibilidad de esa zona a un estímulo determinado. Este fenómeno de convergencia permite que varios estímulos de intensidad subumbral se sumen.



9.3.3. CODIFICACIÓN DE LOS ESTÍMULOS

¿Cómo se realiza la **codificación del estímulo**? Es decir, si los neurorreceptores transforman diferentes estímulos en energía eléctrica, ¿cómo puede nuestro cerebro interpretarlos como diferentes? ¿Cómo puede determinar las características del estímulo?

Independientemente del tipo de receptor que se estimule, todos ellos envían al SNC cuatro tipos de información:

- a) Modalidad del estímulo (*calor, presión*).
- b) Localización del estímulo (*pie, mano*).
- c) Intensidad del estímulo (*fuerte, débil*).
- d) Duración del estímulo (*corta, larga*).

A) MODALIDAD DEL ESTÍMULO

La modalidad sensorial depende, del tipo de receptor estimulado. Cada una de las principales modalidades de estímulo tiene a su vez, submodalidades, por ejemplo, cuando se ve un objeto, se aprecia su color, su forma, si se mueve o está quieto, al tocarlo se aprecia la textura, la temperatura, su dureza, etc. Esto se debe a que dentro de cada tipo de receptores existen varios subtipos especializados en la recepción de estas submodalidades.

- **Ley de las energías nerviosas específicas.** Cada tipo de receptor está adaptado para responder a un estímulo determinado a cuya energía es más sensible. Ejemplo: receptores del tacto y de la T^º.
- **Principio de la línea marcada.** El encéfalo asocia la señal procedente del grupo de receptores activados con una modalidad específica: relación 1:1. Ej. despolarización artificial del receptor del frío.

B) LOCALIZACIÓN DEL ESTÍMULO.

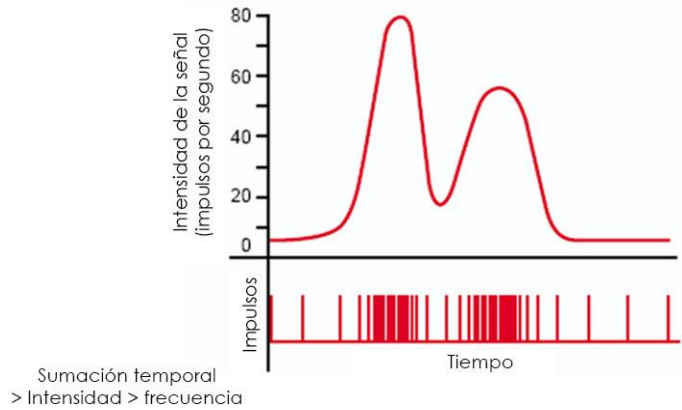
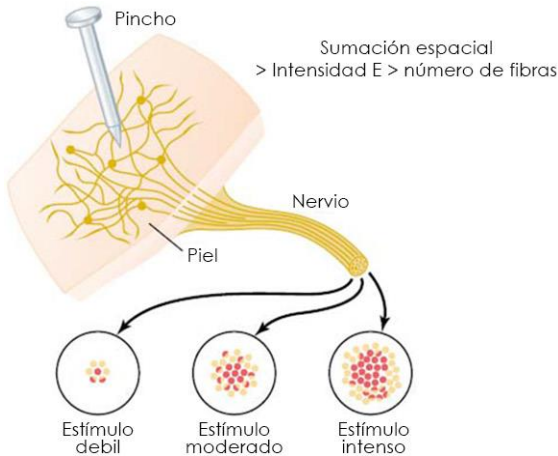
La localización del estímulo se lleva a cabo según las neuronas que son activadas en cada momento. Existe una **organización topográfica** que se mantiene a lo largo de toda la vía sensitiva que permite a nuestro cerebro determinar la localización del estímulo según qué grupos de neuronas sean activadas por éste. Ejemplos: los receptores del tacto de la mano se proyectan en un área especial de la corteza cerebral; el dolor de un miembro fantasma.

En el caso de los receptores olfatorios y auditivos, el origen del estímulo se determina según la secuencia temporal de activación de los receptores. Por ejemplo, los ligandos químicos que conforman la fragancia de un perfume alcanzan cada fosa nasal en un tiempo diferente según el lugar donde se haya vertido éste. Un fenómeno adicional es el de **inhibición lateral**. La estimulación de un área se acompaña de una inhibición de las neuronas circundantes, lo que permite aumentar el contraste entre el campo receptivo y el área circundante, entre la señal y el fondo.

C) INTENSIDAD DEL ESTÍMULO.

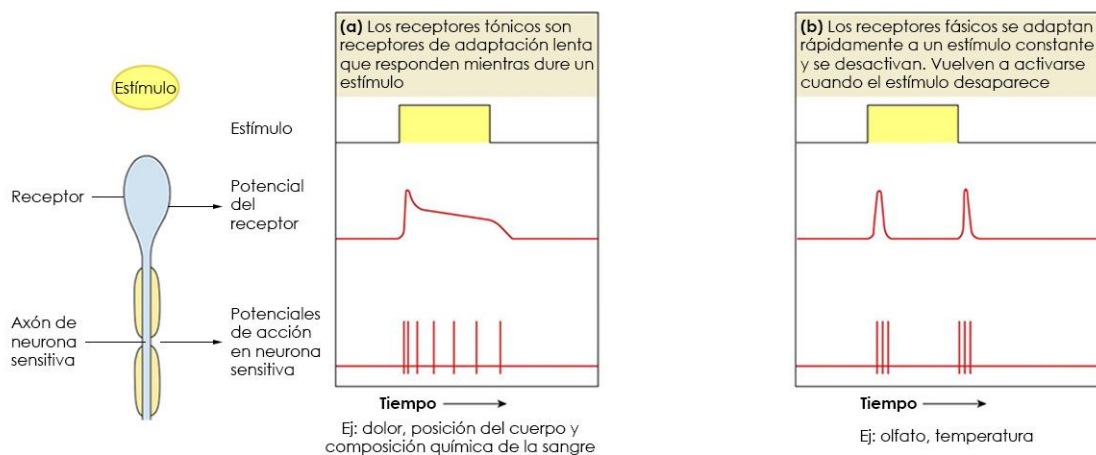
La intensidad del estímulo se determina doblemente: según el número de receptores activados y según el número de potenciales de acción procedentes de ellos. El umbral de respuesta para receptores de una misma modalidad no es el mismo, unos receptores son más sensibles que otros. Tras alcanzar ese umbral de respuesta, la magnitud de los potenciales de receptor generados depende de la intensidad del estímulo. Puesto que el potencial de acción responde a la ley del todo o nada, la intensidad del estímulo no puede reflejarse en la amplitud o duración del potencial de acción; sólo puede hacerlo, y así es como ocurre en realidad, en su frecuencia. A mayor intensidad del estímulo, mayor frecuencia de potenciales de acción en la neurona sensorial. Sin embargo, con estímulos muy intensos se produce un **fenómeno de autoinhibición**, de manera que a partir de un nivel de intensidad la percepción no es mayor. Por último, es necesario recordar

que el sistema nervioso central puede modificar el umbral de respuesta del receptor (**adaptación**). Los receptores sólo responden a una banda estrecha de intensidades de estímulo, por ejemplo, nuestro oído sólo es capaz de codificar frecuencias entre 20 y 20.000 Hz. las frecuencias superiores e inferiores a esta banda (*ultra e infrasonidos*) no se pueden escuchar, pero por ejemplo los perros, con receptores de banda más amplia, sí pueden hacerlo. No todos los receptores de un mismo sistema sensorial responden a la misma banda de estímulo, continuando con el ejemplo de la audición, en el oído interno existen receptores que responden a frecuencias bajas, medias y altas.



D) DURACIÓN DEL ESTÍMULO.

En cuanto a la duración del estímulo, la codificación se realiza en función de la duración de la serie de potenciales de acción generados en respuesta al mismo. Existirían dos tipos de receptores: receptores **tónicos** y receptores **fásicos**: Los receptores tónicos son receptores de adaptación lenta que siguen transmitiendo señales mientras el estímulo esté presente. Son receptores, por tanto, óptimos para aquellos parámetros que deben ser monitorizados de forma continua, es el caso de los discos de Merkel o las terminaciones de Ruffini. Los receptores fásicos son receptores de adaptación rápida, que responden a condiciones cambiantes, es decir, a los cambios que se producen en el estímulo y dejan de hacerlo cuando éste se hace constante. Ejemplo de estos receptores son los corpúsculos de Meissner y Paccini.



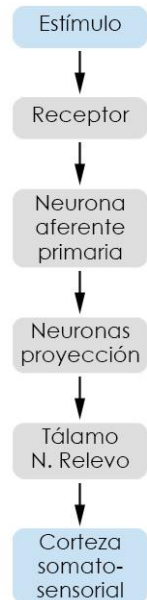
9.4. SENSIBILIDAD SOMÁTICA

Cuando se habla de sensibilidad somática, se está hablando de un grupo heterogéneo de modalidades sensoriales (*tacto, temperatura, dolor, propiocepción*), que tienen en común que sus receptores están distribuidos por todo el cuerpo, más que concentrados en determinadas localizaciones especializadas. En todas ellas se repite un esquema organizativo común. Los neurorreceptores de la sensibilidad somática pueden ser terminaciones nerviosas, libres o encapsuladas, o bien células especializadas de estirpe no neural.

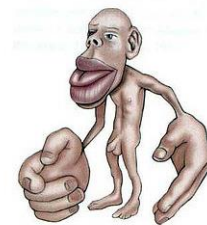
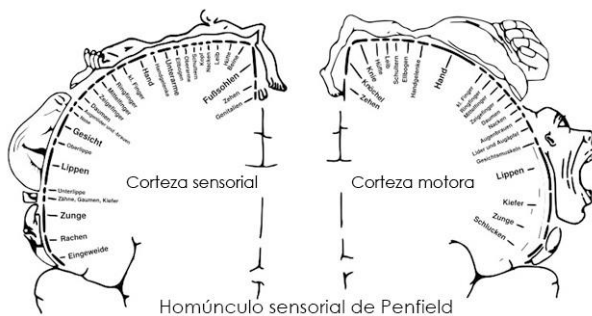
La **neurona aferente primaria** es la primera célula de estirpe neural en la vía sensitiva. Su soma está localizado fuera del SNC, bien en los ganglios de la raíz dorsal, bien en sus equivalentes en los pares craneales. Tiene dos prolongaciones:

- Una **prolongación periférica**, que puede actuar como receptor o asociarse a receptores especializados, y que se encarga de recoger información del campo receptivo.
- Una **prolongación central**, que se encarga de conducir esta información hacia el SNC.

La prolongación central de la neurona aferente primaria conduce la información hacia el **asta posterior de la sustancia gris medular** (*temperatura, dolor, sensibilidad táctil gruesa*) o hasta el bulbo (*sensibilidad táctil fina, propiocepción*). Allí se produce la primera sinapsis en la vía sensitiva. La **neurona aferente secundaria** conducirá esta información hacia núcleos específicos del tálamo contralateral, donde tiene su soma la **neurona aferente terciaria** y desde donde la información es conducida hasta la corteza somatosensorial. En estas **estaciones** o **núcleos de relevo** no sólo existen **neuronas de proyección**, sino también interneuronas, de manera que la información es procesada y modificada antes de su llegada a la corteza. Se verá posteriormente cómo algunas señales sensitivas son procesadas por completo sin alcanzar el plano consciente (*respuestas reflejas*).



Las proyecciones talámicas se dirigen hacia **áreas sensitivas primarias** de la corteza cerebral. Estas áreas sensitivas primarias, como ocurre en mayor o menor medida con toda la vía sensitiva, están organizadas de forma somatotópica o topográfica. Cada parte del cuerpo tiene una representación concreta, cuyo tamaño depende de la sensibilidad (*es decir, de la densidad de receptores*) y uso de esa parte (*por ejemplo, la representación cortical de la mano no es igual que la del tronco, como tampoco es la misma el área de corteza somatosensorial primaria ocupada por la mano de un campesino que la de un pianista*). La representación corporal en la corteza somatosensorial primaria se denomina **homúnculo sensorial de Penfield**. Desde estas áreas primarias, existen proyecciones hacia áreas secundarias (*asociativas*), donde la información es elaborada e interpretada.



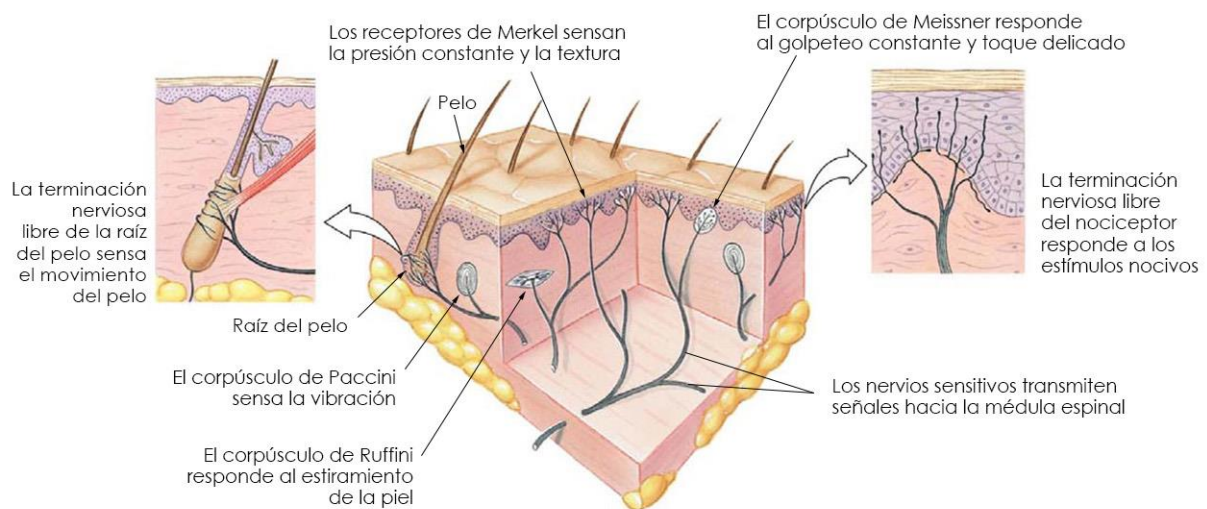
9.5. NEURORRECEPTORES DE LA SENSIBILIDAD SOMÁTICA

Los receptores de la sensibilidad somática son de tres tipos: **mecanorreceptores**, **termorreceptores** y **nociceptores**.

9.5.1. MECANORRECEPTORES

Son los más abundantes; son sensibles a tacto, presión, vibración y propiocepción. No sólo aparecen en la piel, sino también en las vísceras, tendones y músculos. Pueden ser:

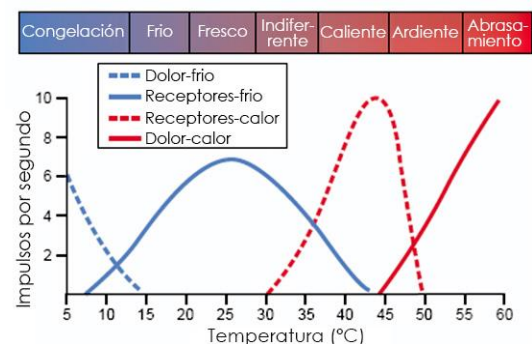
- Terminaciones nerviosas libres, amielínicas, sensibles a tacto y presión y que aparecen en la piel y asociadas a los folículos pilosos.
- Terminaciones nerviosas engrosadas, sensibles a una presión constante, que aparecen en capas superficiales (*receptores de Merkel*) y profundas (*corpúsculos de Ruffini*) de la piel.
- Terminaciones nerviosas encapsuladas por tejido conectivo, sensibles a vibración, distribuidas también por capas superficiales (*corpúsculos de Meissner*) y profundas (*corpúsculos de Paccini*) de la piel.
- Receptores propioceptivos especializados (*husos neuromusculares, órganos tendinosos de Golgi*).



9.5.2. TERMORRECEPTORES

Para mantener la temperatura en torno a los 37° es imprescindible un buen funcionamiento de los mecanismos reguladores del sistema nervioso autónomo. Para que esto sea así, es necesario que se realice una correcta medición de la temperatura por los receptores. Los termorreceptores tienen múltiples localizaciones y algunos son exquisitamente sensibles a cambios de temperatura (*algunas neuronas del hipotálamo detectan cambios de centésimas de grado*).

Los termorreceptores son terminaciones nerviosas libres. Existen **receptores de frío**, mucho más abundantes, que detectan temperaturas por debajo de la temperatura corporal (37 °C), y dejan de funcionar por debajo de los 10 °C y **receptores de calor**, que detectan temperaturas entre 37 y 45 °C. Por encima de esta temperatura se activan nociceptores y se produce dolor.



9.5.3. NOCICEPTORES

Detectan estímulos intensos que causan o pueden causar daño en los tejidos. El dolor puede entenderse, por tanto, como una experiencia, que protege al individuo frente a agresiones externas o internas (o *al menos le capacita para responder ante ellas*). Los nociceptores son terminaciones nerviosas libres capaces de responder ante estímulos mecánicos, térmicos o químicos. Existen numerosos mediadores químicos del dolor: K^+ , histamina, serotonina, prostaglandinas y sustancia P.

El dolor es una **percepción subjetiva**, la interpretación encefálica de la información sensitiva transmitida a lo largo de vías que comienzan en los nociceptores.

Las vías ascendentes para el dolor cruzan la línea media del cuerpo en la médula espinal y ascienden hasta el tálamo y las áreas sensitivas de la corteza. Las vías también envían ramas al sistema límbico y el hipotálamo. En consecuencia, el dolor puede acompañarse con angustia emocional y distintas reacciones autónomas, como náuseas, vómitos o sudoración.

Nuestra percepción del dolor está sometida a modulación en varios niveles del sistema nervioso. Puede ser amplificada por las experiencias pasadas o suprimida en las emergencias cuando la supervivencia depende de ignorar la lesión. En la última situación, vías descendentes discurren a través del tálamo e inhiben las neuronas nociceptivas en la médula espinal. La estimulación artificial de estas vías inhibitorias es una de las técnicas más nuevas que se utilizan para controlar el dolor crónico.

Se pueden diferenciar distintos tipos de dolor:

- El **dolor rápido**, descrito como agudo y localizado, es transmitido rápidamente al SNC por fibras $\Delta 5$ mielínicas pequeñas.
- El **dolor lento**, descrito como más sordo y más difuso, es transportado por fibras C amielínicas.
- **Dolor somático profundo**, el dolor puede percibirse en los músculos esqueléticos y en la piel.
- **Dolor referido**. El dolor cardiaco y en otros órganos internos (*dolor visceral*) a menudo se localiza mal y puede percibirse en áreas muy alejadas del sitio del estímulo. Este dolor referido al parecer ocurre porque múltiples neuronas sensitivas primarias convergen en un único tracto ascendente.

El alivio del dolor es de considerable interés para los profesionales sanitarios. Los agentes analgésicos varían desde el ácido acetilsalicílico (*aspirina*) hasta opiáceos potentes como la morfina.

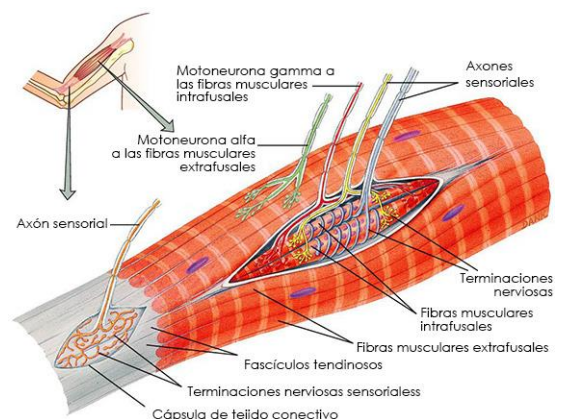
9.5.4. PROPIOCEPTORES

Los propioceptores informan del grado de contracción muscular, magnitud de la tensión en los tendones y la posición de las articulaciones y la cabeza, en reposo y en movimiento.

Prácticamente no se adaptan. Envían información continua al encéfalo sobre la posición relativa de las partes corporales que se usa en la coordinación.

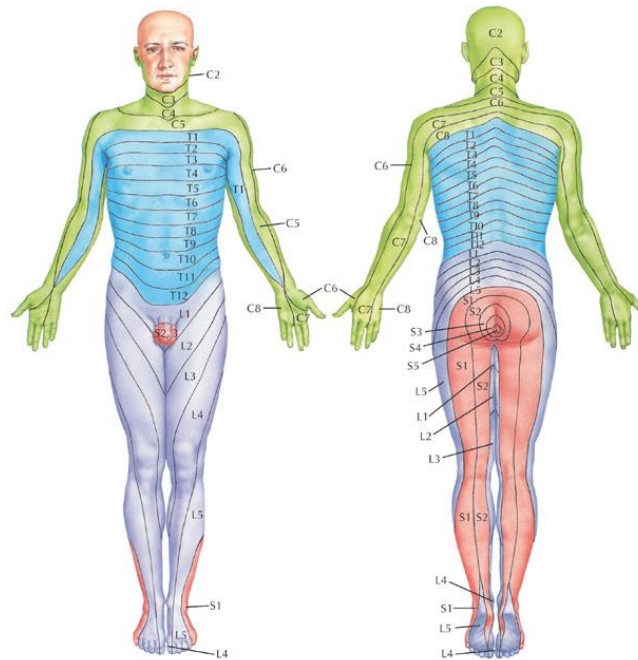
Receptores articulares:

- Terminaciones nerviosas libres y receptores táctiles (*corpúsculo de Ruffini y Paccini*) sensibles a la presión y al movimiento de las articulaciones.
- Órgano tendinoso de Golgi.
- Huso muscular.



9.6. VÍAS MEDULARES DE LA SENSIBILIDAD SOMÁTICA

En general, se puede afirmar que las fibras sensitivas que provienen de los receptores penetran en la médula espinal a través de la raíz dorsal del nervio espinal que inerva ese área, es decir se incorporan a la médula espinal de modo segmentario. Esta segmentación define en la piel áreas sensitivas dependientes de cada segmento medular. Estas áreas se denominan **dermatomas**. La alteración de la sensibilidad en un dermatoma indica la lesión de un nervio espinal, de su raíz dorsal o del segmento medular del que proviene.



9.7. SENTIDOS ESPECIALES. QUIMIORRECEPCIÓN

Los **sentidos químicos** son los más antiguos desde el punto de vista evolutivo. Muchos organismos unicelulares utilizan quimiorreceptores para relacionarse con su entorno; aún en especies tan desarrolladas como la humana, la información obtenida por estos cauces es extremadamente relevante.

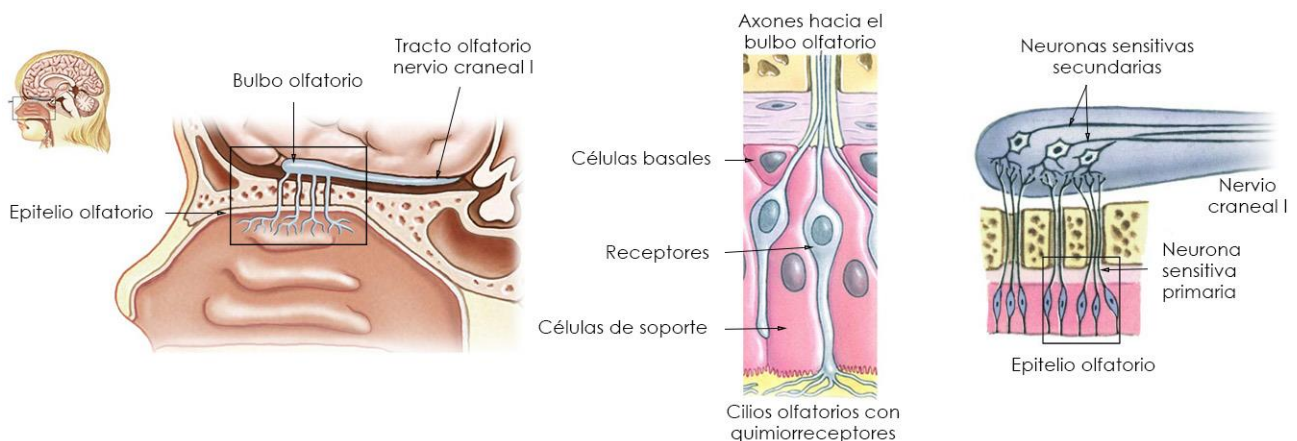
9.7.1. OLFATO

Existen varios cientos de miles de olores diferentes. ¿cómo puede nuestro cerebro diferenciarlos? De forma un tanto simplista, se puede decir que procesando la información recogida por cientos de receptores diferentes en combinaciones distintas. Estos receptores forman parte del **epitelio olfatorio**, que se encuentra en el techo de las fosas nasales. El epitelio olfatorio está poco desarrollado en el ser humano en comparación con otros animales como por ejemplo el perro, que tiene una densidad de receptores cien veces superior.

En el epitelio olfatorio existen tres tipos celulares distintos, las **células de soporte** con importantes funciones metabólicas y de síntesis enzimática. Estas células, además colaboran junto a las glándulas de Bowman en la fabricación del moco en el que se disuelven las partículas odoríferas. El segundo tipo celular son las **células basales**, que son células olfatorias inmaduras a partir de las cuales se renueva el epitelio. El último tipo celular son las **células olfatorias**, los receptores del epitelio; son células de estirpe neural, en continuo proceso de

renovación (su vida media es de aproximadamente seis semanas). Las células olfatorias poseen dos prolongaciones:

- Una prolongación periférica: hacia la superficie del epitelio olfatorio, cuyo extremo, el **cono olfatorio**, contiene varios cilios no móviles, donde se encuentran los quimiorreceptores. Estos cilios se alojan en la película de moco nasal. Se supone que hay varios cientos de miles de receptores diferentes, uno para cada olor.
- Una prolongación central: amielínica, que atraviesa la lámina cribosa del etmoides y se dirige hacia el **bulbo olfatorio**, donde se establece la primera sinapsis de la vía. En el bulbo olfatorio se produce una codificación espacial de la información recogida y es conducida, mediante el tracto olfatorio, hacia la corteza olfatoria, amígdala e hipocampo. Debe resaltarse que la vía olfatoria es la única vía sensitiva que no realiza una sinapsis en el tálamo.



La activación de los receptores se produce cuando las moléculas odoríferas se disuelven en el moco de la cavidad nasal, en el que existen **proteínas de unión** que sirven para concentrar estas partículas y presentarlas a los receptores. La unión de las partículas odoríferas a los quimiorreceptores, mediante la activación de un grupo específico de proteínas G, inicia la transmisión de impulsos en la vía olfativa. La despolarización de las células olfatorias es un proceso muy especial ya que junto a los fotorreceptores de la retina constituyen el único ejemplo conocido de canales iónicos dependientes de AMPc. La activación de las proteínas G estimula la adenilato-ciclasa que aumenta la concentración de AMPc en el citoplasma celular, este AMPc induce la apertura de canales de Na^+ y Ca^{2+} permitiendo la entrada de estos iones en la célula lo que produce su despolarización.

La sustancia odorífera para estimular la células olfatorias ha de ser:

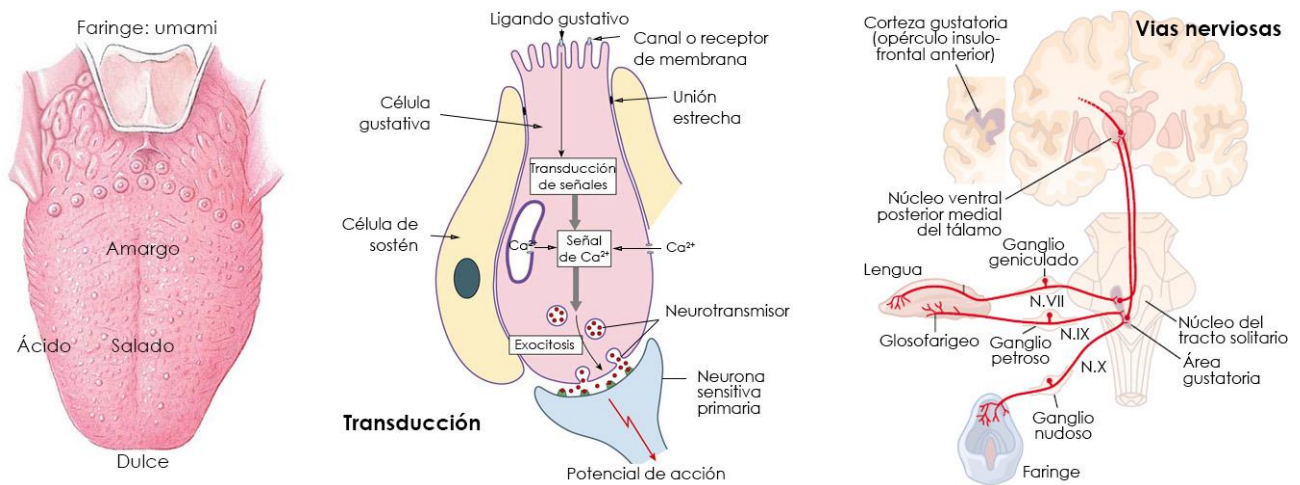
- Una sustancia volátil: tamaño, química.
- Ligeramente soluble en agua: solubilidad en el moco.
- Ligeramente soluble en lípidos: cilios barrera frente a sustancias no solubles en lípidos.

9.7.2. GUSTO

El sentido del gusto radica esencialmente en la lengua, aunque el paladar, la pared posterior de la faringe y la epiglotis también tienen receptores gustativos. Los receptores extralinguales tienen función desconocida y al parecer no participan en el sentido del gusto. A diferencia del gran número de odorreceptores diferentes, sólo existen cinco tipos de receptores gustativos, correspondientes a los cinco sabores básicos: **dulce, agrio, salado, amargo y umami**. Los receptores para los cuatro primeros se localizan en la superficie dorsal de la lengua, con una distribución más o menos específica: la parte posterior de la lengua es más sensible a los sabores amargos, los laterales de la lengua a los agrios (*parte posterior*) y a los

salados (*porción anterior*) y la punta de la lengua es muy sensible a los sabores dulces. La porción central del dorso de la lengua no tiene prácticamente receptores gustativos y es poco sensible a sabores. Umami es una palabra japonesa que significa "delicia" y se emplea para describir un gusto básico que incrementa el sabor de los alimentos. Los receptores para umami responden al glutamato y se localizan en la parte posterior de la faringe.

Las partículas gustativas, de manera similar a como ocurría en el caso de las partículas odoríferas, se disuelven en la saliva antes de unirse a los receptores. Probablemente existen proteínas de unión que concentran estas partículas y las presentan a los receptores. Los receptores son células epiteliales modificadas con microvellosidades apicales. Se organizan en estructuras especiales llamadas **botones gustativos**, que contienen entre 50 y 150 receptores, células de soporte y células basales capaces de regenerar cualquiera de los otros dos tipos celulares. Los botones gustativos se agrupan a su vez en unas estructuras macroscópicas que tapizan el dorso y laterales de la lengua llamadas **papilas**.



La despolarización de los receptores del gusto por las sustancias gustantes se puede producir por cuatro mecanismos diferentes:

- Las sustancias gustantes atraviesan directamente los canales iónicos introduciéndose en el citoplasma del receptor.
- Unión a los canales iónicos, activándolos.
- Unión a los canales iónicos, bloqueándolos.
- Activación de sistemas de proteína G.

En cualquiera de los casos anteriores, la unión de la sustancia gustante a los receptores produce como consecuencia un aumento de los niveles de Ca^{2+} citoplasmáticos, lo que se traduce en la liberación de neurotransmisor y la activación de la neurona aferente primaria. Según la localización lingual del receptor, la neurona aferente primaria viaja por el nervio facial (*receptores de los dos tercios anteriores de la lengua*), el nervio glosofaríngeo (*tercio posterior de la lengua*) o el nervio vago (*porción más posterior de la lengua y receptores extralinguales*).

La neurona aferente primaria es una neurona pseudounipolar cuyo soma está localizado en el **ganglio geniculado** (*nervio facial, VII*), en el **ganglio petroso** (*nervio glosofaríngeo, IX*) o en el **ganglio nudoso** (*nervio vago, X*). La información es conducida hasta el área gustativa del bulbo, situada en el **núcleo del tracto solitario** y desde allí se dirige al núcleo ventral posteromedial del tálamo desde donde proyecta hacia las áreas gustativas primarias de la corteza.

9.7.3. VISIÓN

El ojo es un receptor sensitivo que funciona de forma muy similar a una cámara. Enfoca la luz sobre una superficie sensible (*la retina*) utilizando una lente (*el cristalino*) y una apertura u orificio (*la pupila*) cuyo tamaño también puede ser ajustado para cambiar la cantidad de luz entrante. La visión, el proceso a través del cual la luz reflejada en los objetos de nuestro entorno es traducida en una imagen mental, puede ser dividida en tres pasos:

1. La luz entra en el ojo y es enfocada sobre la retina por el cristalino.
2. Los fotorreceptores de la retina traducen la energía luminosa en una señal eléctrica.
3. Las señales eléctricas son procesadas a través de las vías neurales.

ANATOMÍA FUNCIONAL

El ojo propiamente dicho es una esfera hueca dividida en **dos compartimentos (cámaras)** separados por el cristalino.

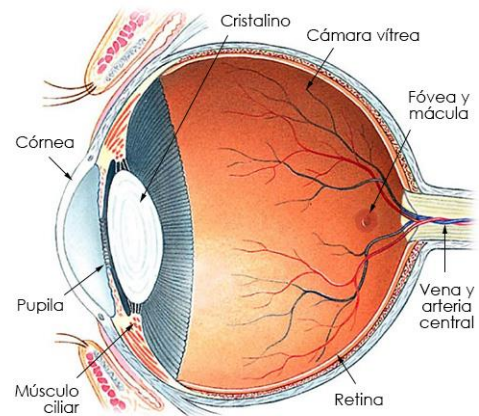
La **córnea** es una capa de tejido transparente en el polo anterior del ojo.

La **pupila** regula la cantidad de luz por su diámetro (SNC).

- Alta luminosidad: contracción (sistema nervioso parasimpático); **miosis**.
- Baja luminosidad: dilatación (sistema nervioso simpático); **midriasis**.

El **cristalino**, suspendido por ligamentos denominados **zónula ciliar**, es un disco transparente que enfoca la luz. Divide al ojo en dos cámaras: anterior (*humor acuoso*) y posterior (*humor vítreo*). La contracción del **músculo ciliar** altera la curvatura del cristalino.

La **retina** es el revestimiento del ojo sensible a la luz que contiene los fotorreceptores. La **fóvea** y un anillo estrecho de tejido que la rodea, la **mácula**, son las regiones de la retina con la visión más aguda. La retina está surcada por pequeñas arterias y venas que irradian hacia afuera desde un punto, el disco óptico o **papila**.

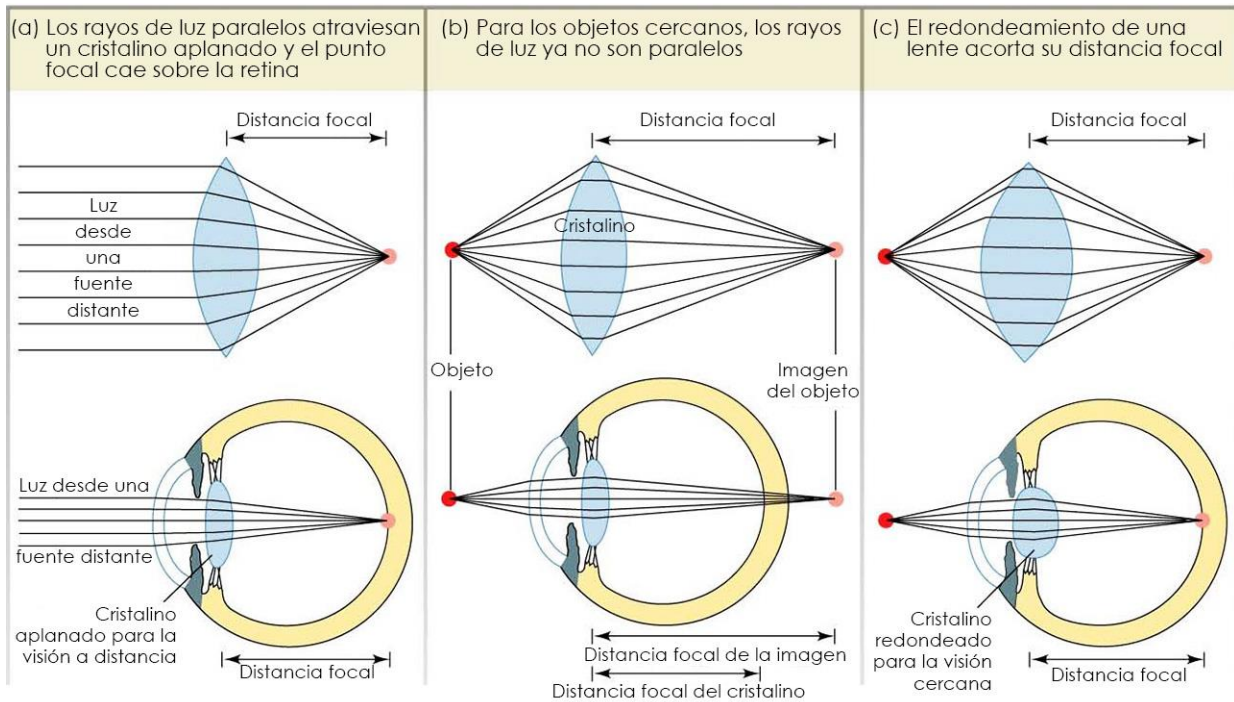


CRISTALINO Y ACOMODACIÓN

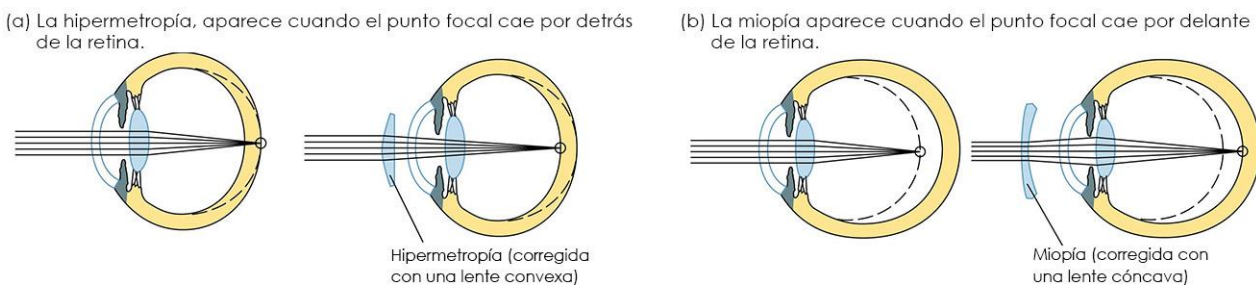
El cristalino es una lente biconvexa transparente de aproximadamente 20 dioptrías cuya función es enfocar con precisión los rayos de luz sobre la retina. La imagen proyectada en la retina es inversa a la del campo visual (*el campo visual es el área de nuestro entorno que se puede ver con un ojo mientras se mantiene la mirada al frente*). Puesto que la densidad del cristalino es diferente de la del humor acuoso de la cámara anterior, los rayos de luz se desvían al pasar de un medio a otro (*refracción*). El punto donde estos rayos convergen se denomina **punto focal**; la distancia entre el centro del cristalino y el punto focal se denomina distancia focal.

Cuando el punto focal coincide sobre la retina, los objetos están enfocados y la visión es nítida. Por tanto, es necesario que en todo momento los rayos de luz converjan sobre el epitelio retiniano, con independencia de su dirección. O dicho de otro modo, el cristalino debe ser capaz de cambiar su distancia focal para enfocar sobre la retina la imagen de objetos lejanos y objetos cercanos. Para ello es necesario que su forma cambie. ¿cómo se produce este cambio? El cristalino está anclado al músculo ciliar por fibras elásticas llamadas **fibras zonulares**. Las fibras del músculo ciliar se disponen circularmente. Cuando el músculo ciliar se

contrae, la tensión sobre las fibras zonulares se reduce y el cristalino adopta una forma redondeada por acción de la elasticidad de su cápsula, óptima para la visión cercana. Cuando el músculo ciliar se relaja, las fibras zonulares se tensan y el cristalino adopta una forma aplanada, adecuada para la visión lejana. El proceso por el cual el ojo ajusta la forma del cristalino para mantener los objetos enfocados se denomina **acomodación**. La capacidad de acomodación disminuye con la edad debido a la disminución de las capacidades elásticas del cristalino (**presbicia**).



Otros dos problemas frecuentes de la visión, la miopía y la hipermetropía, ocurren cuando el punto focal cae delante o detrás de la retina, respectivamente. Estos trastornos pueden corregirse colocando una lente que tenga la curvatura apropiada delante del ojo para modificar la longitud focal. Un tercer problema visual frecuente es el astigmatismo, suele estar causado por una córnea que no tiene una forma de cúpula perfecta, lo que produce imágenes distorsionadas.



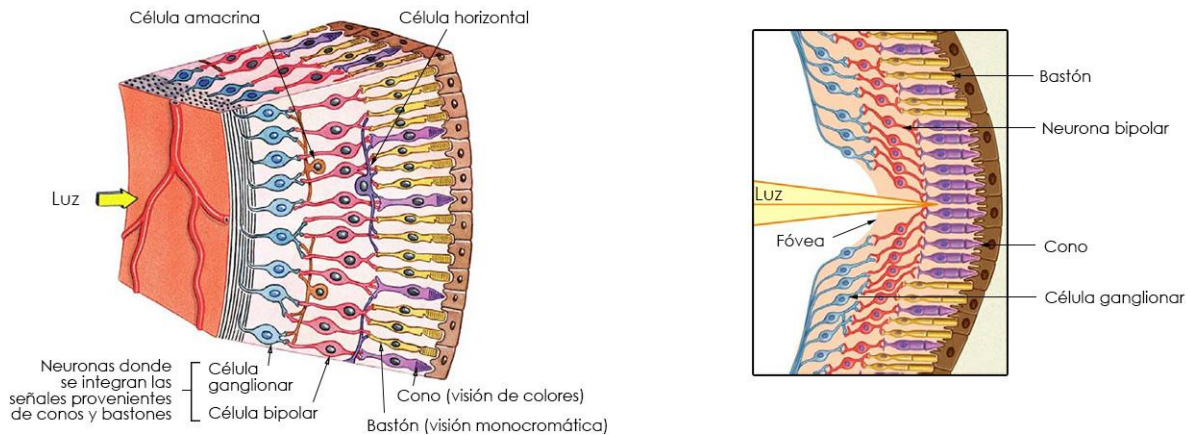
RETINA

La retina es un epitelio fotosensible que tapiza la cara interna del globo ocular, y que constituye la primera etapa del procesamiento visual. La retina contiene tres estructuras de interés:

- La **papila**: es el punto de salida del nervio óptico, en esta zona retiniana no existen fotorreceptores y es la responsable de la "mancha ciega" del campo visual.

- La **mácula**: se localiza temporal a la papila y constituye el centro de la retina, es la zona de visión central, donde se enfocan los rayos de luz que entran en el ojo.
- La **fóvea**: es una excavación en el centro de la mácula, en la cual la luz incide directamente sobre la capa de fotorreceptores debido a un desplazamiento lateral del resto de las capas de la retina que se encuentran sobre ellos.

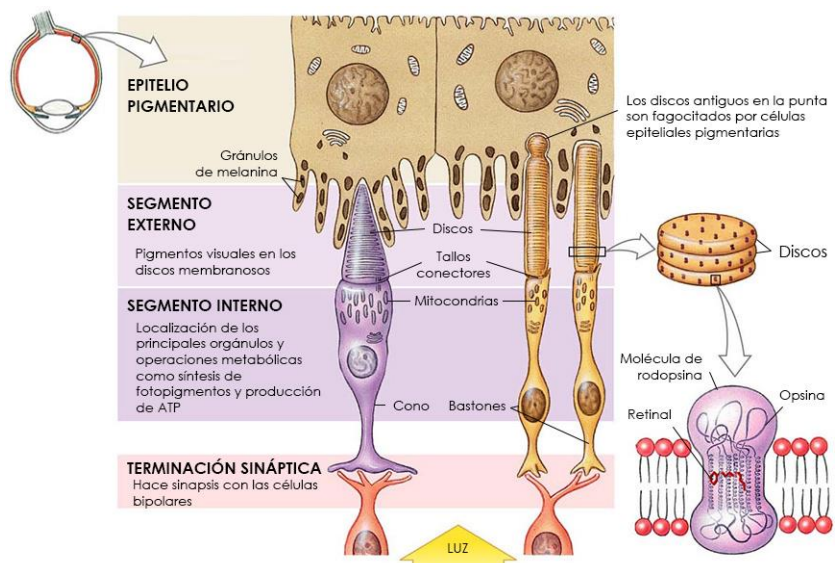
La retina es un tejido de origen nervioso organizado en capas. La distribución de la retina es tal que la luz ha de atravesar todas las capas (excepto la del epitelio pigmentario) para llegar a los fotorreceptores. La capa del epitelio pigmentario es la más externa, con células ricas en melanina, que absorbe la luz que atraviesa la retina, impidiendo la dispersión de la luz en el globo ocular y por lo tanto la distorsión de la imagen. Internamente al epitelio pigmentario, se encuentra la capa de fotorreceptores.



FOTORRECEPTORES

Existen dos tipos de fotorreceptores, bastones y conos. Llamados así por la forma de su segmento externo. Los fotorreceptores se distribuyen de modo heterogéneo por la retina, los bastones se encuentran en elevada densidad en la retina periférica, donde la densidad de conos es muy escasa. En la retina central (*mácula*), las proporciones se invierten y en la fóvea, sin embargo no hay bastones, todos los fotorreceptores son conos. Los bastones son los más abundantes y participan en la visión monocromática en situaciones de baja luminosidad. Los conos son los responsables de la visión diurna y de colores en presencia de luz brillante. Sólo existe un tipo de bastones, pero hay tres tipos de conos cuyos pigmentos responden a tres longitudes de onda diferentes de la luz, que se corresponden con los colores rojo, verde y azul.

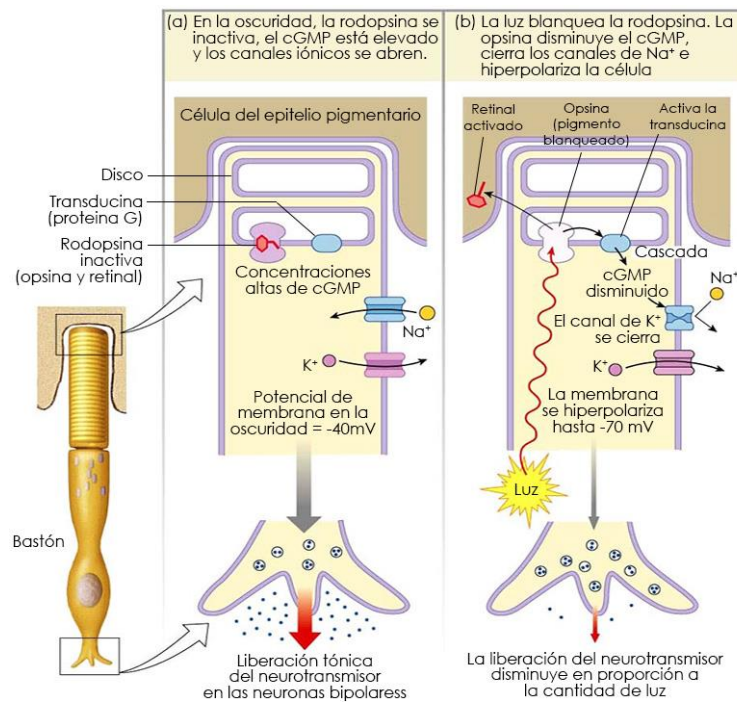
El segmento externo de los fotorreceptores contiene discos membranosos donde se acumulan los pigmentos sensibles a la luz. Los bastones tienen una mayor densidad de discos membranosos y de pigmento lo que explica su mayor sensibilidad en condiciones de baja iluminación.



FOTOTRANSDUCCIÓN

La **rodopsina** (el pigmento visual de los bastones) se compone de dos fracciones, una proteica u opsina,

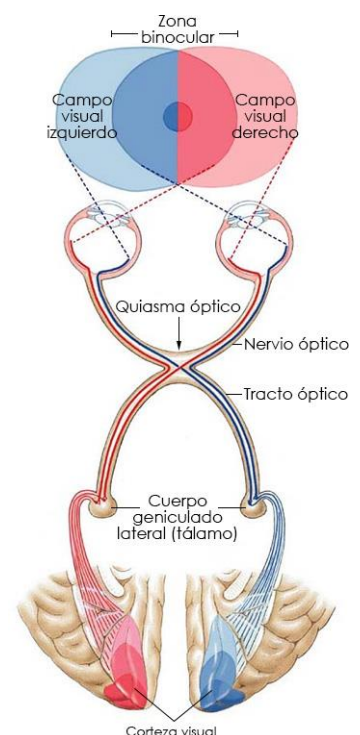
anclada en la membrana plasmática, y otra derivada de la vitamina A, el **retinal**, que es la fracción fotosensible. En la oscuridad, la rodopsina permanece inactiva, los niveles de GMPc citoplasmáticos son altos y los canales de Na⁺ y K⁺ permanecen abiertos. Este movimiento iónico se denomina **corriente de oscuridad**. En esta situación, el potencial de membrana de los fotorreceptores se sitúa en torno a -40 mV y se produce una liberación tónica de neurotransmisores (*glutamato*). Cuando la luz incide sobre la retina, el retinal se disocia de la fracción proteica, los niveles de cGMP disminuyen y los canales de cationes se cierran, con lo que la célula tiende a hiperpolarizarse. En esta situación la liberación de neurotransmisores disminuye. El proceso es similar para cada uno de los tres pigmentos (*rojo, verde, azul*) que contienen los conos.



VIAS NERVIOSAS Y PROCESAMIENTO DE LA VISIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, el ojo tiene forma esférica, esto hace que la retina temporal vea el campo visual nasal y la retina nasal el campo visual temporal, dicho de otro modo, si se mira al frente, el lado derecho de nuestro campo visual (*hemicampo derecho*) será visto por la retina nasal del ojo derecho y la retina temporal del izquierdo, por lo tanto en cada nervio óptico, formado por los axones de las células ganglionares, se lleva información de parte del hemicampo derecho y de parte del izquierdo. La fusión de esta información se realizará en la corteza visual.

Los nervios ópticos alcanzan el sistema nervioso central a través del **quiasma óptico**. En este punto las fibras que recogen la información de las retinas nasales de cada ojo se decusan, es decir, atraviesan la línea media y se dirigen al hemisferio contralateral, mientras que las fibras que provienen de la retina temporal continúan su camino sin decusarse. Por detrás del quiasma, los tractos ópticos conducen la información hacia el tálamo (*corpos geniculados laterales*), desde donde las radiaciones ópticas conducen la información hacia la corteza visual primaria (*lóbulo occipital*), que está organizada en módulos funcionales. Gracias a la decusación del quiasma, la corteza visual de un lado procesa la información visual del hemicampo visual contralateral. La lesión de la vía óptica producirá distintos defectos campimétricos dependiendo del lugar de lesión de la vía.

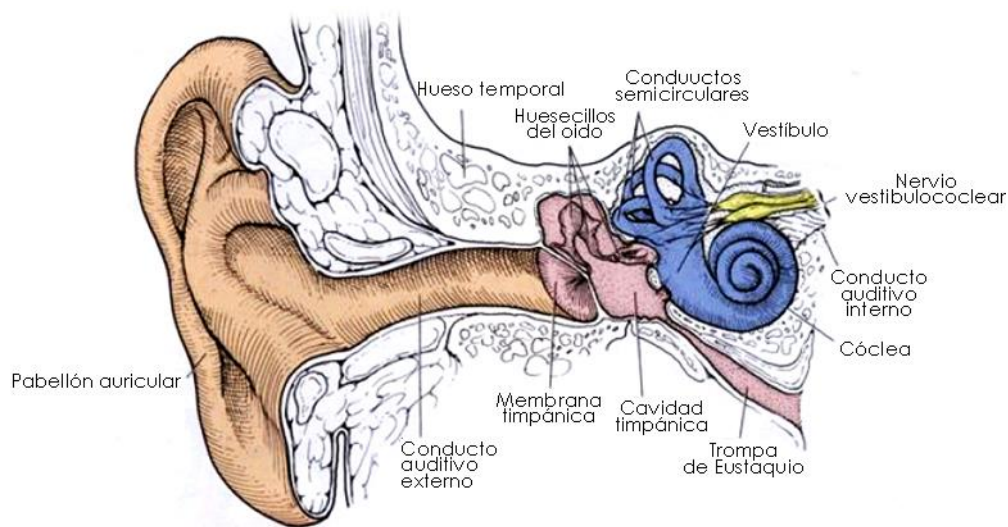


La percepción visual es un proceso creativo. La información visual es procesada en múltiples áreas corticales, que aportan diferentes contribuciones al procesamiento del movimiento, la profundidad, la forma y el color. Parte de la información conducida por los tractos ópticos proyecta hacia regiones subcorticales del cerebro, implicadas en el control de los movimientos oculares (*colículos superiores del mesencéfalo*) y respuestas pupilares (*pretectum*).

9.7.4. AUDICIÓN

La audición y el equilibrio constituyen lo que se conocen como sentidos mecánicos, ya que la estimulación del receptor se produce de modo mecánico, mediante el desplazamiento de cilios. El órgano sensorial especializado en la audición y el equilibrio es el oído. El oído tiene tres partes: **oído externo**, **oído medio** y **oído interno**.

El **complejo vestibular** del oído interno es el sensor primario para el **equilibrio**. El resto del oído se utiliza para la **audición**.



SONIDO

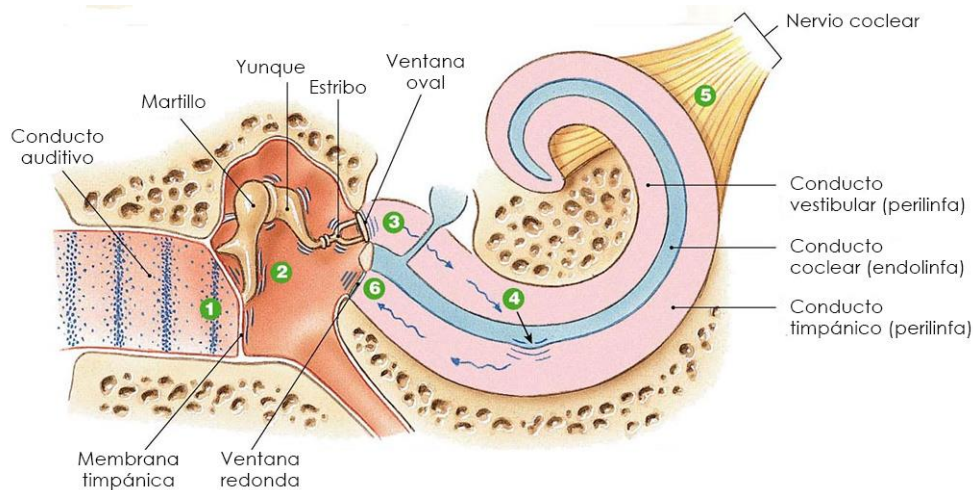
El sonido es nuestra interpretación de la frecuencia, la amplitud y la duración de las ondas sonoras que alcanzan nuestros oídos. El cerebro traduce la intensidad de las ondas sonoras en el volumen de un sonido, a mayor amplitud de las ondas sonoras mayor intensidad del sonido.

El cerebro traduce la frecuencia de las ondas sonoras en el tono de un sonido, a mayor frecuencia de un sonido, mayor tono.

TRANSMISIÓN DEL SONIDO EN EL OIDO

1. Primera transducción: las ondas sonoras golpean la membrana timpánica y se convierten en vibraciones.
2. La energía de las ondas sonoras es transferida a los tres huesos del oído medio, que vibran.
3. Segunda transducción: el estribo está unido a la membrana de la ventana oval. Las vibraciones de la membrana oval crean ondas de líquido dentro de la cóclea.

4. Tercera transducción: las ondas de líquido empujan sobre las membranas flexibles del conducto coclear. Las células ciliadas se inclinan y liberan neurotransmisor.
5. Cuarta transducción: la liberación de neurotransmisor en las neuronas sensitivas crea potenciales de acción que discurren a través del nervio coclear hasta el cerebro.
6. La energía de las ondas se transfiere a través del conducto coclear al conducto timpánico y es disipada nuevamente en el oído medio por la ventana redonda.



CÓCLEA

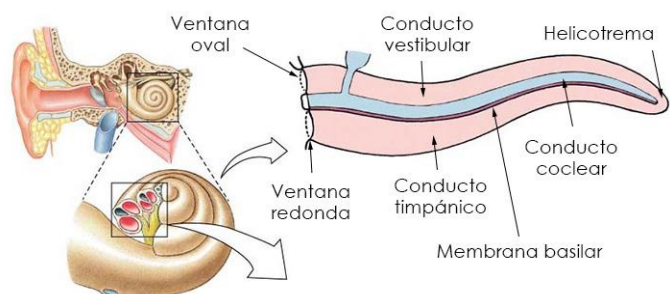
La traducción de la energía sonora en potenciales de acción tiene lugar en la cóclea en el oído interno. La cóclea desenrollada está compuesta por tres canales paralelos llenos de líquido:

- **Conducto vestibular**, o rampa vestibular
- **Conducto coclear** central o rampa media
- **Conducto timpánico** o rama timpánica

Los conductos vestibular y timpánico se continúan entre sí y conectan en la punta de la cóclea a través de un pequeño orificio conocido como el helicotrema. El conducto coclear es un tubo de extremo cerrado pero se conecta con el aparato vestibular a través de un orificio pequeño.

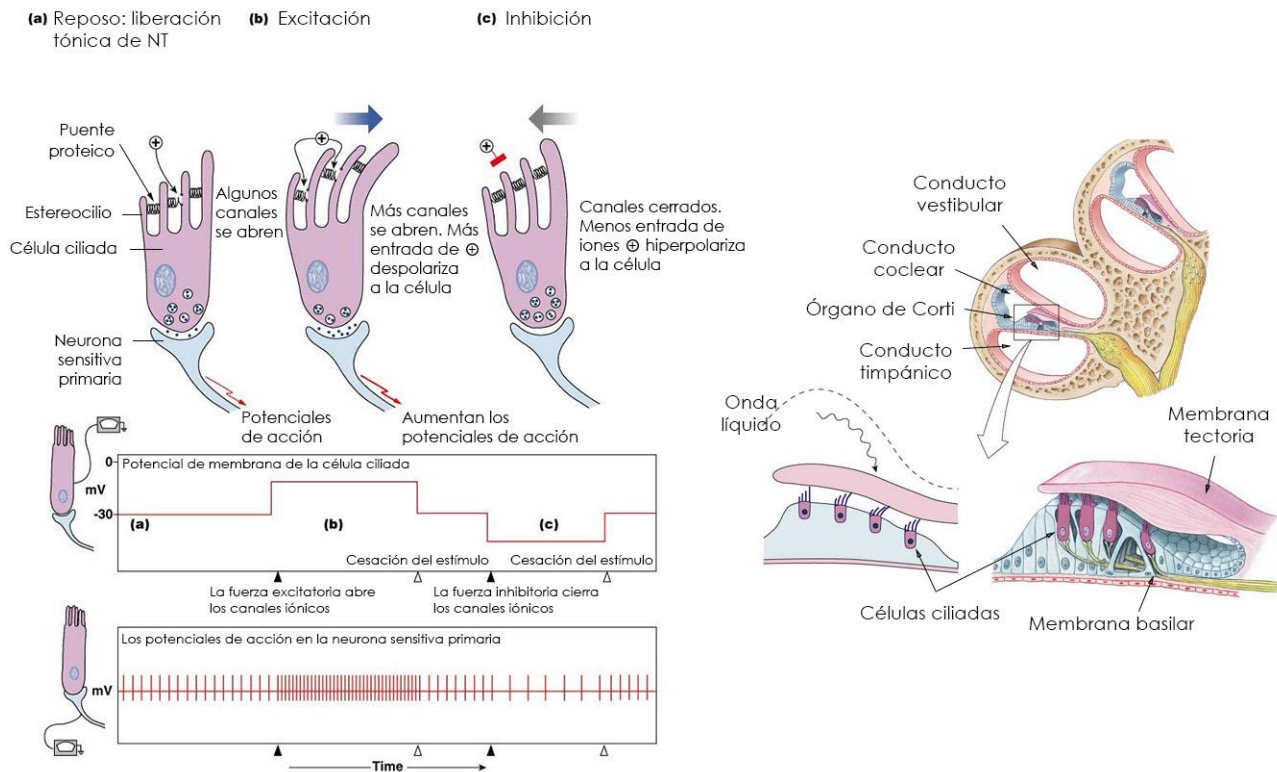
El líquido de los conductos vestibular y timpánico es similar en composición iónica al plasma y se conoce como **perilinf**a. El conducto coclear está lleno de **endolinf**a secretada por las células epiteliales del conducto.

El conducto coclear contiene el órgano de Corti, compuesto por los receptores de las células ciliadas y células de sostén. El órgano de Corti se ubica sobre la **membrana basilar** y está cubierto parcialmente por la **membrana tectoria**, tejidos flexibles que se mueven en respuesta a las ondas que atraviesan el conducto vestibular. A medida que las ondas atraviesan la cóclea, desplazan las membranas basilar y tectoria y crean oscilaciones que suben y bajan e inclinan las células ciliadas.



Las células ciliadas, al igual que las células gustativas, son células receptoras no neurales. La superficie apical de cada célula ciliada está modificada y tiene 50-100 cilios endurecidos conocidos como **estereocilios**, dispuestos en altura ascendente. El cilio más largo de cada célula ciliada, denominado **cinocilio** está fijado a la membrana tectoria suprayacente. Si la membrana tectoria se mueve, los cinocilios fijados a ella también lo hacen. Este movimiento se transmite a los estereocilios de la célula ciliada.

Cuando las células ciliadas se mueven en respuesta a las ondas sonoras, sus estereocilios se flexionan, primero para un lado, luego hacia el otro. Los estereocilios están unidos entre sí por puentes proteicos. Estos puentes actúan como pequeños resortes y están conectados a "puertas trampa" que abren y cierran canales iónicos en la membrana de los cilios.



El procesamiento inicial de la información auditiva se realiza en la cóclea. El **tono** del sonido depende de la zona de la membrana basilar que vibra en cada momento. La membrana basilar es muy rígida y estrecha en la base y ancha y flácida en las zonas próximas al helicotrema, esta forma especial de la membrana, hace que en función de la frecuencia del sonido vibren con mayor intensidad unas zonas u otras. Los sonidos agudos (*de alta frecuencia*) estimulan fundamentalmente la zona rígida próxima a la ventana oval; los sonidos graves, de baja frecuencia, la zona más flexible, próxima al helicotrema. Por lo tanto el tono de un sonido dependerá, de la localización de los receptores estimulados.

La **intensidad** del sonido se codifica por la frecuencia de potenciales de acción generados en la codea, y la duración, por la duración de estos trenes de potenciales de acción.

La **localización** del sonido es un proceso muy complejo que se realiza básicamente comparando la diferencia de tiempo existente en la captación de un sonido por uno u otro oído. Lógicamente, un sonido llegará antes al oído más próximo, la comparación de los tiempos se realiza en estructuras troncoencefálicas y las conexiones descritas anteriormente entre ambas vías auditivas juegan un papel prioritario en esta función.

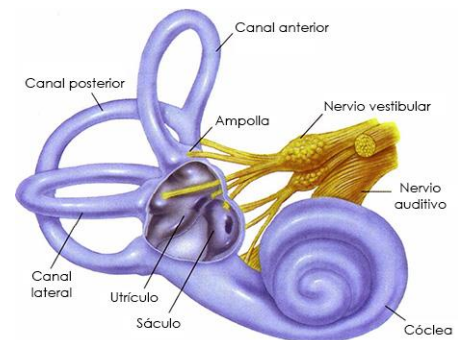
VÍAS AUDITIVAS

Una vez que la cóclea transforma las ondas sonoras en señales eléctricas, las neuronas sensitivas primarias transfieren esta información al cerebro. El nervio coclear se vuelve parte del nervio craneal VIII y sus neuronas se proyectan hacia los núcleos en el bulbo raquídeo. En este punto, el sonido proveniente de cada oído es proyectado tanto a los núcleos homolaterales (*del mismo lado*) como a los contralaterales (*del lado opuesto*). En consecuencia, cada lado del cerebro obtiene información de ambos oídos. Los tractos ascendentes desde el bulbo raquídeo se dividen y dirigen en tres direcciones. La vía principal hace sinapsis en los núcleos del mesencéfalo y el tálamo antes de proyectarse hacia la corteza auditiva. Las vías colaterales llevan la información hacia la formación reticular y el cerebelo.

9.7.5. APARATO VESTIBULAR

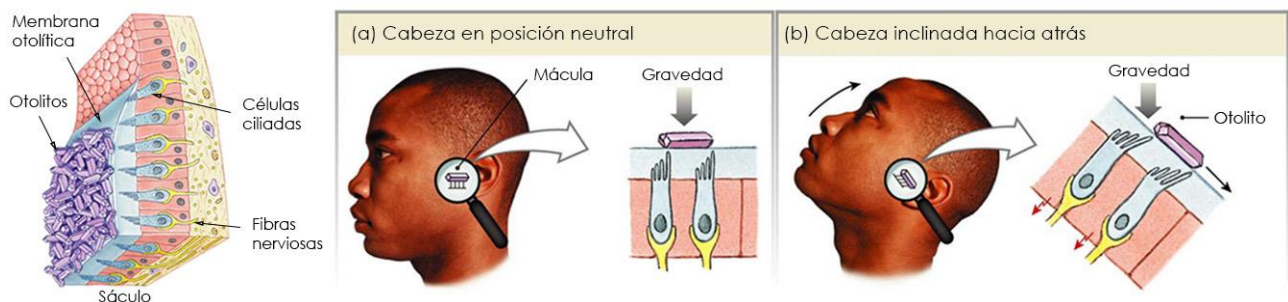
El equilibrio es una función compleja en la que participa información recogida por receptores de naturaleza extremadamente diversa, incluyendo información vestibular, visual y propioceptiva. En último término, el equilibrio implica el conocimiento, por parte de nuestro cerebro, de la localización de cada parte del cuerpo respecto al resto y respecto al entorno.

El **aparato vestibular** es una parte del oído interno capaz de detectar aceleraciones. Está excavado en el hueso temporal y contiene unas estructuras membranosas que lo recubren internamente. Los conductos membranosos están llenos de un líquido de características similares al que se encuentra en la ramba media de la cóclea y que recibe el mismo nombre, endolinfa. En el aparato vestibular se definen dos partes: los **órganos otolíticos** y los **conductos semicirculares**.



ÓRGANOS OTOLÍTICOS

Son una especie de sacos de unos 3 mm de longitud que contienen las **máculas**, pequeñas áreas especializadas en la detección de la posición de la cabeza (*equilibrio estático*) y de aceleraciones lineales. En las máculas se agrupan los receptores, que son células ciliadas muy similares a las del órgano de Corti, cuyos cilios se introducen en una estructura gelatinosa conocida como membrana otolítica. Sobre la membrana otolítica se encuentran pequeños cristales de carbonato cálcico (**otolitos**). El movimiento de la cabeza desplaza el laberinto, pero la masa de otolitos se desplazará libremente siguiendo su inercia, lo que provocará el desplazamiento de los cilios. De un modo similar a lo que ocurre en el órgano de Corti, el desplazamiento de los cilios en un sentido despolariza la célula y en el sentido contrario la hiperpolariza. La localización de las máculas en los órganos otolíticos hace que el utrículo detecte aceleraciones lineales en el plano horizontal, mientras que el sáculo es estimulado por aceleraciones lineales en el plano vertical.



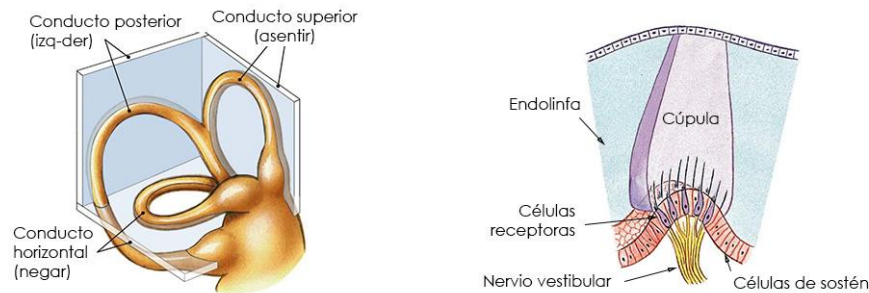
CONDUCTOS SEMICIRCULARES

Se sitúan en los tres planos del espacio, en posición perpendicular entre sí, nacen del utrículo y tienen una dilatación próxima a éste denominada ampolla. Las ampollas contienen las crestas, agrupaciones de receptores que están cubiertos de una sustancia gelatinosa denominada cúpula que interrumpe la circulación de la endolinfa. En los conductos semicirculares no hay otolitos, y es el desplazamiento de la cúpula debido a la inercia de la endolinfa quien produce la flexión de los cilios.

Todos los receptores de una cresta están orientados en un mismo sentido y están especializados en la detección de aceleraciones angulares (*rotacionales*).

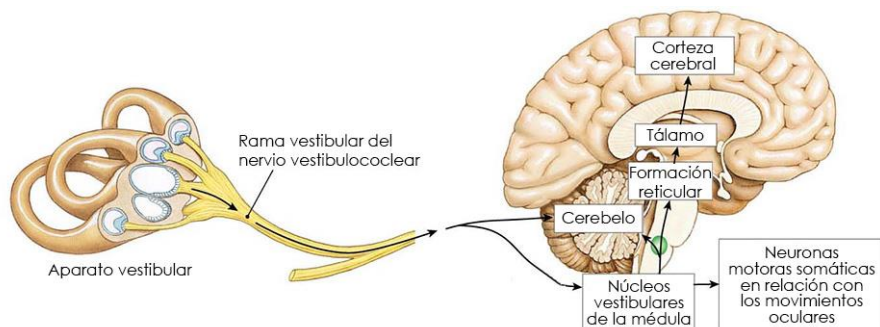
- Los **conductos superiores** se estimulan especialmente cuando el movimiento de la cabeza es equivalente al realizado al asentir (*de delante a atrás*).
- Los **conductos horizontales**, cuando el movimiento es equivalente al realizado al negar (*girar a un lado*).
- Los **conductos posteriores** se estimulan al inclinar la cabeza hacia los lados.

En cualquier caso, no se debe olvidar que la mayoría de los movimientos generan patrones complejos de estimulación vestibular y que los movimientos de negación y de inclinación de la cabeza generan movimientos opuestos de la endolinfa en cada uno de los laberintos, lo que permite diferenciar el sentido del giro.



VÍAS NERVIOSAS DEL EQUILIBRIO

Los **neurorreceptores vestibulares**, como ya se ha comentado, son células ciliadas, similares a las del órgano de Corti. La información recogida por estos receptores es conducida hacia el sistema nervioso central por el **nervio vestibular (VIII par craneal)**. Una parte de ésta información llega a los **núcleos vestibulares** y desde allí se distribuye por diferentes estructuras **troncoencefálicas**, **talámicas** (*núcleos ventral posterior y ventral lateral*) y **corticales**. Otra parte llega directamente al **cerebelo**, estructura clave en el control del movimiento. Las conexiones troncoencefálicas participan en **reflejos vestibulares**, cuya función es estabilizar los ojos y el cuerpo cuando la cabeza está en movimiento.



TEMA 10. FISIOLÓGÍA DEL MÚSCULO

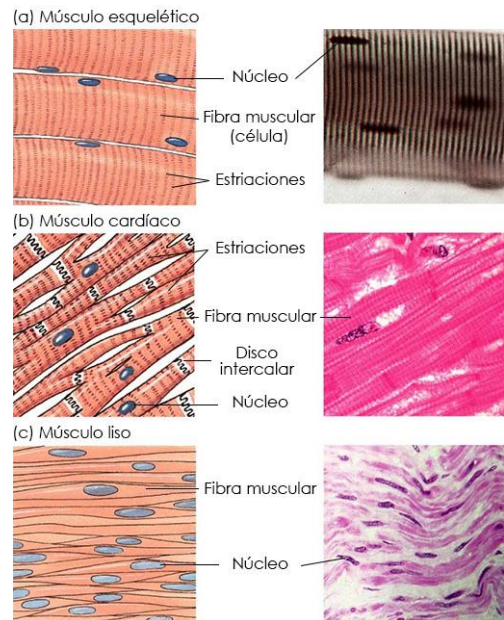
10.1. TIPOS DE TEJIDO MUSCULAR

El cuerpo humano tiene tres tipos de tejido muscular: músculo esquelético, músculo cardíaco y músculo liso. La mayoría de los **músculos esqueléticos** están unidos a los huesos del esqueleto, lo que les permite controlar el movimiento corporal. El **músculo cardíaco** sólo se encuentra en el corazón y es responsable de impulsar la sangre a través del sistema circulatorio. Los músculos esquelético y cardíaco se clasifican como **músculos estriados** debido a sus bandas claras y oscuras alternantes bajo microscopía óptica.

El **músculo liso** es el músculo principal de los órganos y tubos internos, como el estómago, la vejiga y los vasos sanguíneos. Su función primaria es influir en el movimiento del material hacia el interior del cuerpo, hacia el exterior y dentro de él. Bajo el microscopio, el músculo liso carece de bandas cruzadas observables en los músculos estriados. Su falta de bandas es el resultado de la disposición menos organizada de las fibras contráctiles dentro de las células musculares.

Los músculos esqueléticos a menudo se describen como músculos voluntarios, y el músculo liso y cardíaco como involuntarios. Sin embargo, no se trata de una clasificación precisa. Los músculos esqueléticos pueden contraerse sin una dirección consciente, y es posible adquirir cierto grado de control consciente, sobre el músculo cardíaco y algún músculo liso.

Los músculos esqueléticos se caracterizan por contraerse sólo en respuesta a una señal proveniente de una neurona somática. No pueden iniciar su propia contracción y su contracción no es influida directamente por las hormonas. En cambio, el músculo cardíaco y el músculo liso tienen múltiples niveles de control. Aunque su control extrínseco primario se ejerce a través de la inervación autónoma, algunos tipos de músculo liso y el músculo cardíaco pueden contraerse de forma espontánea, sin señales provenientes del SNC. Además, la actividad del músculo cardíaco y de algunos músculos lisos puede ser modulada por el sistema endocrino. A pesar de estas diferencias, el músculo liso y el músculo cardíaco comparten muchas propiedades con el músculo esquelético.



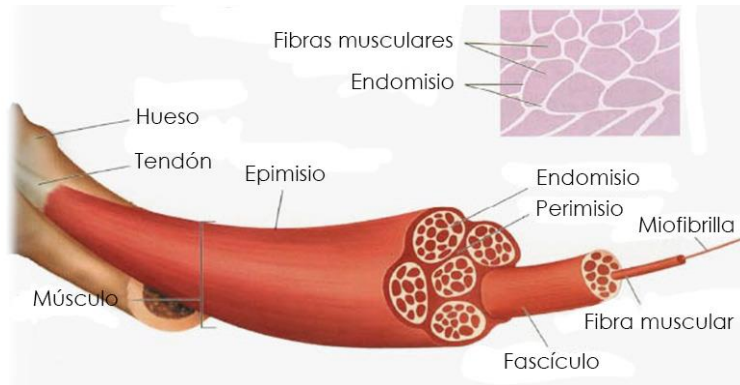
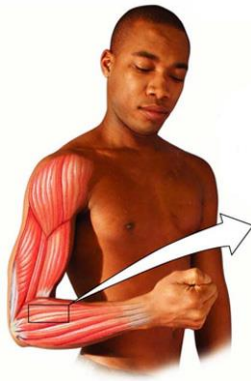
10.2. MÚSCULO ESQUELÉTICO

La musculatura esquelética representa alrededor del 40-45% del peso corporal. Como su nombre sugiere esta musculatura es responsable del mantenimiento de la posición del cuerpo y del movimiento del esqueleto. También contribuyen a la termogénesis.

10.2.1. ESTRUCTURA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

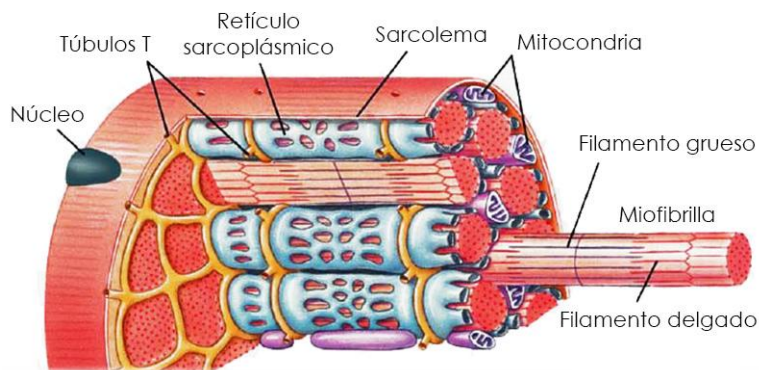
El tejido muscular esquelético está compuesto por células musculares multinucleadas que se denominan generalmente fibras musculares por su aspecto alargado y cilíndrico.

Un músculo pequeño está compuesto por cientos de fibras musculares; un músculo grande, puede estar compuesto por cientos de miles de fibras musculares. La disposición de las fibras musculares en un músculo es variable y puede ser paralela, oblicua o radial a su eje longitudinal. Las fibras musculares están unidas unas a otras mediante tejido conjuntivo (**endomisio**). Así mismo entre las fibras musculares hay moléculas de colágeno, fibras elásticas (*tejido conjuntivo que constituye el **perimisio***), nervios y vasos sanguíneos. El paquete muscular entero está rodeado de una vaina de tejido conjuntivo (**epimisio**) que se continúa con los tendones (*haz común de fibras del tejido conjuntivo*) que sujetan el músculo por sus extremos al hueso correspondiente.



10.2.2. ESTRUCTURA DE UNA FIBRA MUSCULAR ESQUELÉTICA

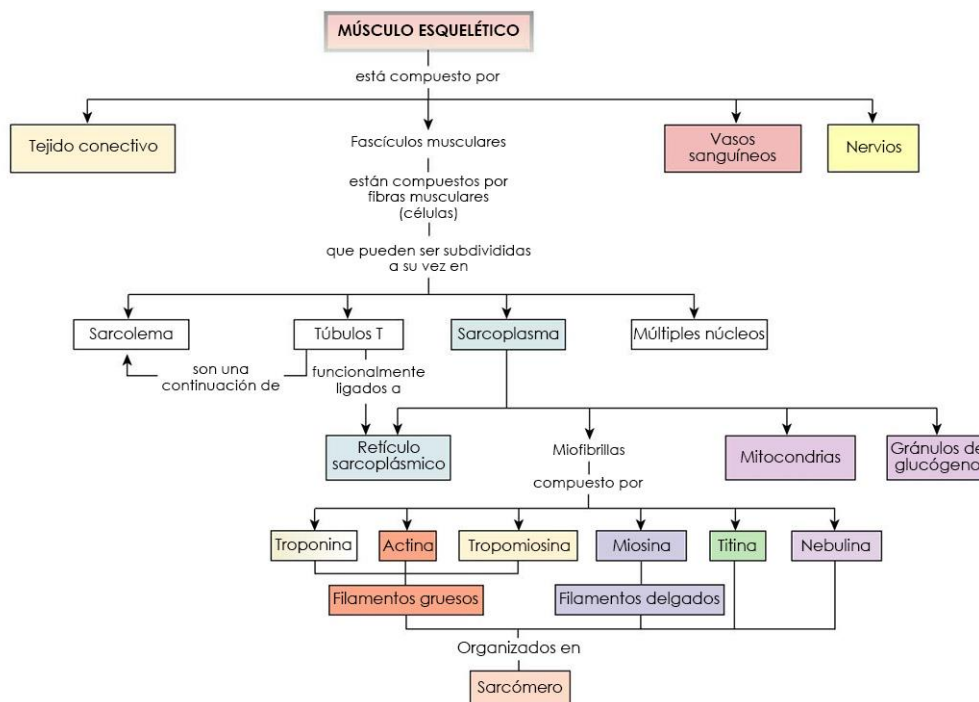
En el caso de las células musculares existe una nomenclatura específica para sus componentes, puesto que desde el punto de vista citológico, presentan características muy definidas. La membrana plasmática de una fibra muscular se conoce como **sarcolema** y el citoplasma se denomina **sarcoplasma**. Las **miofibrillas** son las estructuras intracelulares más importantes de estas células, y están formadas por un conjunto de proteínas contráctiles y elásticas fundamentales para que se produzca la contracción muscular. Las células músculo-esqueléticas contienen un retículo endoplasmático liso modificado muy extenso que se denomina **retículo sarcoplásmico**. El retículo sarcoplásmico se dispone abrazando a cada miofibrilla. El papel del retículo sarcoplásmico, como se verá más adelante, es acumular en su interior el calcio necesario para la contracción muscular. Asociado al retículo sarcoplásmico se encuentran los **túbulos T** o túbulos transversos. Los túbulos T son unas invaginaciones del sarcolema hacia el interior de la fibra muscular para que el líquido extracelular y el interior de la célula tengan la mayor superficie de intercambio posible. Los túbulos T permiten que los potenciales de acción que se originan en la superficie celular de la fibra muscular se transmitan al interior de la fibra. El sarcoplasma contiene, además de los elementos arriba descritos, gránulos de glucógeno y muchas mitocondrias.



10.2.3. ULTRAESTRUCTURA DE LA FIBRA MUSCULAR

El citoplasma de cada fibra muscular está prácticamente ocupado por miles de miofibrillas que ocupan la mayor parte del volumen intracelular, dejando poco espacio para los demás orgánulos. Estas miofibrillas tienen aproximadamente 1 μm de diámetro, están separadas por el citoplasma de la célula y se disponen paralelamente a lo largo del eje longitudinal de ésta. Cada miofibrilla a su vez se compone de **miofilamentos gruesos y delgados** o simplemente filamentos gruesos y delgados. Los filamentos gruesos están formados fundamentalmente por **miosina** mientras que los delgados están constituidos por tres tipos de proteínas: **actina, troponina y tropomiosina**.

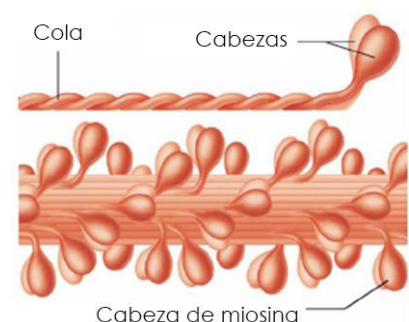
Las proteínas de una miofibrilla también pueden clasificarse desde el punto de vista funcional en proteínas contráctiles, proteínas reguladoras y proteínas accesorias. Las proteínas contráctiles son la **miosina** y la **actina**, las proteínas reguladoras son la **tropomiosina** y la **troponina** y las accesorias son la **tifina**, la **nebulina**.



10.2.4. MIOSINA: FILAMENTOS GRUESOS

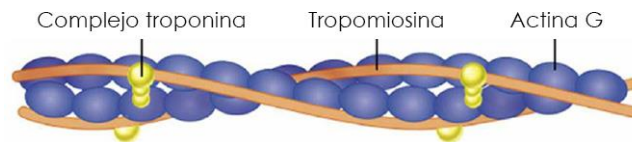
La molécula de miosina constituye un dímero (2 subunidades) en el que se distingue una cola y una cabeza. La cola tiene una forma parecida a un bastón y consiste en un par de hebras enrolladas entre sí que confieren estabilidad a la molécula. Esta parte de la proteína está unida por un cuello a la doble cabeza de la miosina que tiene forma globular, presenta actividad **ATPasa** e interactúa con las moléculas de actina. Asociada a la cabeza de miosina se encuentran las cadenas ligeras de miosina que tienen un papel regulador importante en el músculo liso, como se verá más adelante. La unión entre cabeza y cuello de la miosina, así como la de cuello-cola, son de tipo articulado, permitiendo cierto grado de movimiento.

En los músculos esqueléticos aproximadamente unas 250 moléculas de miosina se unen para formar un filamento grueso. Los filamentos gruesos se organizan de tal modo que las cabezas se disponen radialmente hacia los extremos y en la región central se agrupan las colas de la miosina.



10.2.5. ACTINA: FILAMENTOS DELGADOS

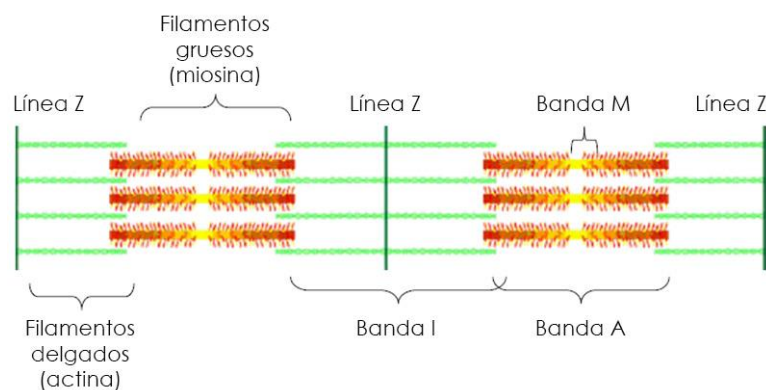
La molécula monomérica de actina es una proteína globular conocida como actina G. Cada monómero de actina G contiene sitios de unión para monómeros de actina, miosina, tropomiosina, troponina, ATP y cationes. La actina F es una proteína fibrosa que se forma por la unión de 300 o más monómeros de actina G. En los músculos esqueléticos el filamento delgado se compone de dos bandas de polímeros de actina F entrelazados con la configuración de una hélice de doble cadena.



10.2.6. SARCÓMERO: UNIDAD FUNCIONAL

Si se observa una fibra muscular con un microscopio óptico, la distribución de los filamentos gruesos y delgados forma un patrón repetido de bandas transversales densas separadas por bandas menos densas. Una repetición de este patrón es lo que se conoce como sarcómero que es la unidad contráctil fundamental y consta de los siguientes elementos:

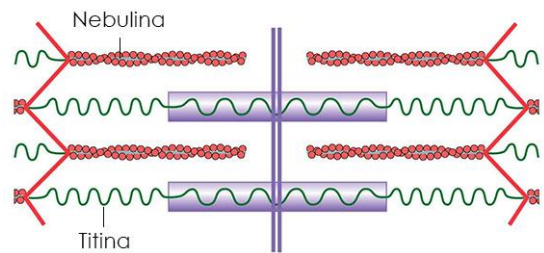
- **Línea Z:** Estructuras en zig-zag formadas por proteínas que son el lugar de anclaje para los filamentos finos. A partir de esta estructura es posible establecer la definición de sarcómero como la región comprendida entre dos líneas Z consecutivas.
- **Banda I:** Esta banda se presenta como la más clara del sarcómero. Es una zona en la que solamente se encuentran filamentos finos. La línea Z está en la zona media de la banda I, por lo que cada mitad de la banda I pertenece a un sarcómero distinto.
- **Banda A:** Es la más oscura de las bandas del sarcómero y contiene filamentos gruesos y finos. En los extremos de la banda A se superponen los filamentos gruesos y delgados, mientras que la zona central está ocupada únicamente por los filamentos gruesos.
- **Banda H:** es la zona central de la banda A y es más clara que los extremos de la banda A.
- **Banda M:** Es el área más oscura en el centro de la zona H y es el lugar de anclaje para los filamentos gruesos, que tiene un papel equivalente a la línea Z para los filamentos finos. La línea M es el centro del sarcómero.



10.2.7. PROTEÍNAS ACCESORIAS: TITINA Y NEBULINA

La **titina** o tubulina es una molécula elástica y de tamaño molecular muy grande que une los filamentos de miosina y la línea Z. Tiene dos funciones importantes que son: estabilizar la posición de los filamentos contráctiles y, debido a su elasticidad, ayudar a que los músculos después de la contracción vuelvan a su posición original.

La **nebulina** es una proteína inelástica que ayuda a la titina en su función estructural. Se dispone paralelamente y próxima a la actina y se adhiere a la línea Z. La nebulina ayuda a mantener la disposición de los filamentos de actina.



10.2.8. TEORÍA DEL DESLIZAMIENTO DE FILAMENTOS Y FORMACIÓN DE PUENTES CRUZADOS

La teoría del deslizamiento de los filamentos afirma que la contracción muscular es el resultado del deslizamiento entre sí de dos grupos superpuestos de filamentos. En estado relajado, el sarcómero tiene una banda I ancha y una banda A cuya longitud está determinada por la extensión de los filamentos gruesos. Cuando la contracción tiene lugar el sarcómero se acorta. Las líneas Z en cada extremo se aproximan, haciendo que las bandas H e I, casi desaparezcan. A pesar del acortamiento del sarcómero la longitud de la banda A permanece constante. Estos cambios se producen porque tiene lugar un deslizamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina a medida que se acercan hacia la línea M en el centro del sarcómero. De este movimiento de deslizamiento deriva el nombre de la teoría.

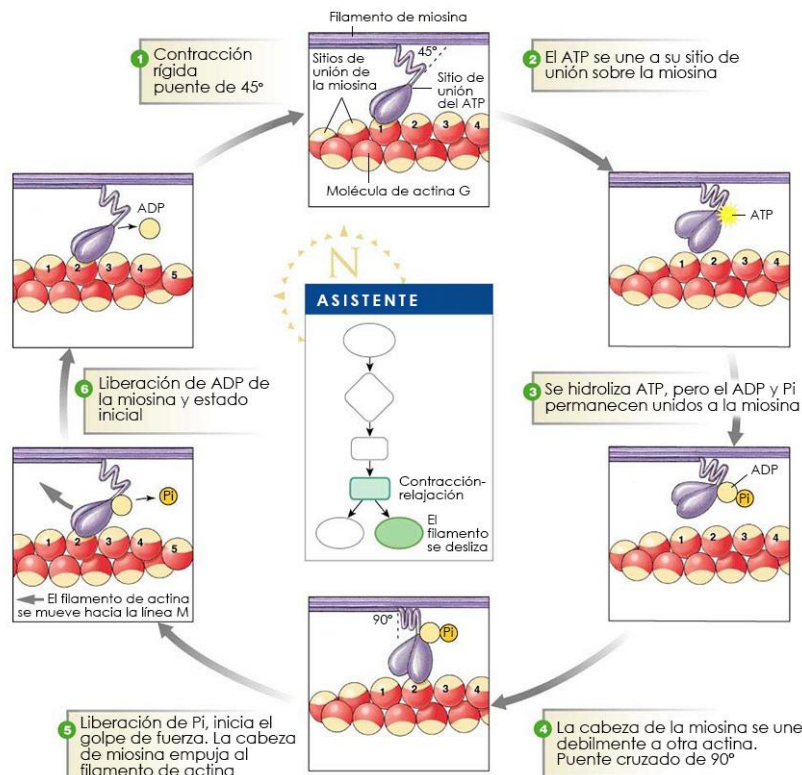
10.2.9. BASES BIOQUÍMICAS DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

La base molecular del movimiento de deslizamiento de los filamentos resultó evidente cuando se describió la estructura de la actina y de la miosina. Las cabezas globulares de la miosina forman **puentes cruzados** con los monómeros de actina, de ahí la nueva denominación a la teoría del deslizamiento como la teoría del deslizamiento de puentes cruzados. Además la cabeza de miosina presenta afinidad para el ATP. Por lo tanto, la miosina, es una proteína motora que convierte la energía química unida a ATP en energía mecánica para el movimiento. Cada molécula de miosina actúa como una ATPasa, ya que lo hidroliza. Formándose ADP, fosfato inorgánico y liberando **energía**.

Se pueden distinguir los siguientes fenómenos moleculares durante un ciclo de contracción:

- **Contracción rígida.** La actina y la miosina en ausencia de ATP están unidas, ya que la miosina presenta una alta afinidad por la actina. La posición de la cabeza de miosina es de un ángulo de 45° con respecto al eje longitudinal del filamento grueso. En estas condiciones (*ausencia de ATP*) el músculo se pone rígido.
- **Fijación de ATP.** La presencia de una molécula de ATP hace que el complejo actina-miosina se disocie, ya que la afinidad de la miosina, unida a ATP por la actina es mucho menor que la que presenta sin la unión del ATP.
- **Hidrólisis del ATP.** Se produce la hidrólisis del ATP en la cabeza de miosina, formándose ADP y fosfato inorgánico que permanecen unidos a la cabeza de miosina.
- **La miosina se vuelve a unir.** La energía liberada de la hidrólisis del ATP se asocia con un cambio de configuración de la miosina. Este cambio de configuración (*giro de la cabeza de miosina 45° hacia atrás*) hace posible la unión de la cabeza de miosina con un nuevo monómero de actina. La actina y la miosina quedan débilmente unidas formando la cabeza de miosina un ángulo de 90° con el filamento grueso.

- **Liberación de Pi y golpe de fuerza.** Hasta este momento del ciclo, el ADP y fosfato inorgánico permanecen unidos a la cabeza de miosina. La liberación del fosfato inorgánico provoca que la cabeza de miosina intente retornar a su posición inicial, pasando de un ángulo de 90° a uno de 50°. Este giro de la cabeza de miosina provoca el deslizamiento del filamento de actina hacia el centro del sarcómero.
- **Liberación del ADP.** Cuando el ADP se disocia del complejo, la cabeza de miosina alcanza su posición final, formando un ángulo de 45° con el eje longitudinal del filamento grueso y cesa el desplazamiento del filamento delgado. Esto es debido a que la actina y la miosina se unen formando un complejo estable y adoptando la posición original del ciclo de la contracción. El nuevo complejo de rigidez sólo puede disociarse con la unión de una nueva molécula de ATP a la cabeza de miosina. Esta unión es la que se conoce como efecto relajante del ATP.



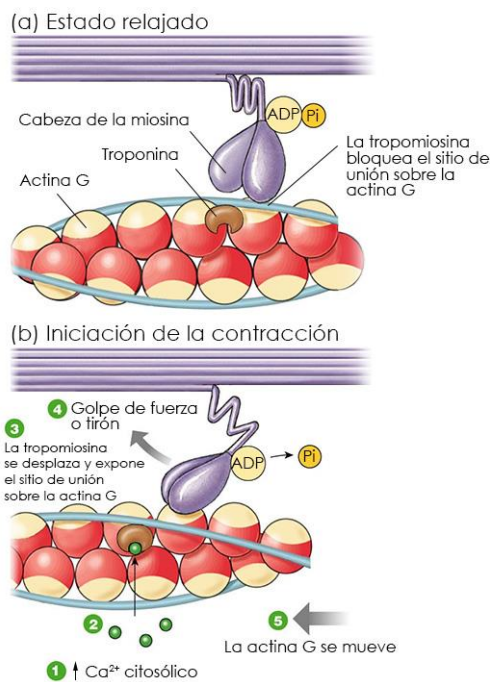
10.2.10. REGULADORES DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

Para evitar que la actina y la miosina estén interaccionando continuamente en el ciclo contráctil arriba descrito, es necesaria la existencia de un mecanismo regulador. La regulación del fenómeno de la contracción tiene lugar por mediación de dos proteínas reguladoras que están presentes en los filamentos delgados de la miofibrilla: la **tropomiosina** y la **troponina**.

Las moléculas de tropomiosina, en estado muscular relajado se disponen sobre las moléculas de actina, de modo que se pueda dar una interacción débil entre la actina-miosina. Sin embargo esta disposición impide el movimiento de la cabeza de miosina, por lo tanto para que el ciclo de contracción pueda darse, la tropomiosina, debe liberar los sitios de afinidad de la actina por la miosina.

La troponina es la proteína que, a su vez, regula a la tropomiosina. Cuando la contracción comienza, la troponina, une reversiblemente Ca^{2+} . La unión del Ca^{2+} a la troponina produce un cambio en la configuración de la troponina, que se disocia de la actina y de la tropomiosina. Este cambio de configuración supone la liberación de los sitios de afinidad de la actina por la cabeza de miosina. Los ciclos de contracción pueden repetirse mientras la tropomiosina se mantenga en esta configuración.

De nuevo, para que la relajación muscular pueda darse, las concentraciones de Ca^{2+} citosólico tienen que disminuir. De esta manera el calcio se disocia de la troponina y la tropomiosina vuelve a ocupar su posición original bloqueando parte de los sitios de unión entre actinmiosina.



- 1 Aumentan las concentraciones de Ca^{2+} en el citosol.
- 2 El Ca^{2+} se une a la troponina.
- 3 El complejo troponina- Ca^{2+} tira de la tropomiosina lejos del sitio de unión de la actina G.
- 4 La miosina se une a la actina y completa el golpe de fuerza.
- 5 El filamento de actina se desplaza.

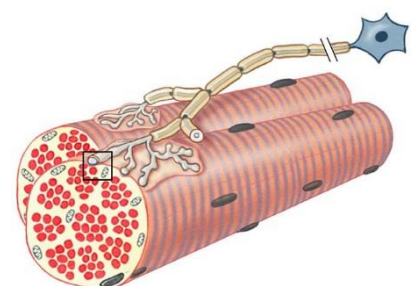
10.2.11. FASES QUE CONDUCEN A LA CONTRACCIÓN

- **Unión neuromuscular:** transformación de una señal química procedente de una motoneurona en una señal eléctrica en la fibra muscular.
- **Acoplamiento excitación contracción:** proceso por el cual los potenciales de acción musculares inician señales de Ca^{2+} que a su vez inician el ciclo de contracción-relajación.
- **Ciclo de contracción relajación:** teoría de la contracción por los filamentos deslizantes.

10.2.12. UNIÓN NEUROMUSCULAR

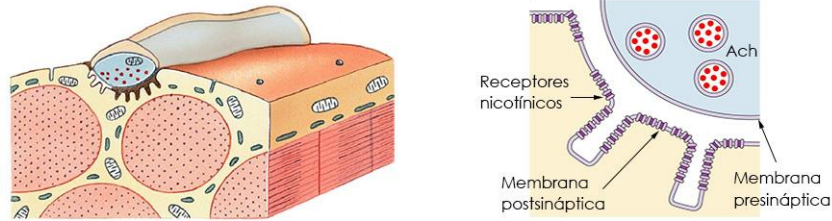
La unión neuromuscular es la sinapsis química establecida entre el axón de una motoneurona, como elemento presináptico, y una fibra muscular como elemento postsináptico. Se trata de una sinapsis de gran relevancia funcional al ser la conexión entre la célula que constituye la vía final común de actuación del sistema nervioso central (*la motoneurona*) y el principal efector (*el músculo esquelético*). Los elementos de que consta la unión neuromuscular están especializados en funciones diferentes y son:

- Terminal axónico.
- Hendidura: ACO
- Membrana de la fibra muscular: placa motora
- Vainas de las células de Schwann



10.2.13. PLACA TERMINAL MOTORA

El terminal presináptico acaba en una zona muy delimitada de la fibra muscular, denominada placa terminal motora o placa motora. En la placa motora hay una serie de invaginaciones de membrana que constituyen los denominados pliegues de unión. En esta zona se hallan, en una alta densidad, los receptores de ACh de tipo nicotínico.

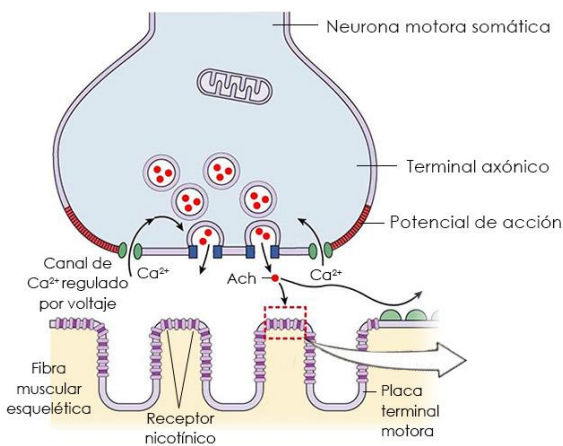


10.2.14. EVENTOS EN LA UNIÓN NEUROMUSCULAR

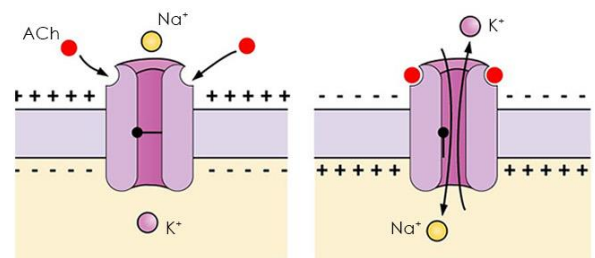
Como ocurre en todas las neuronas, los potenciales de acción que llegan al terminal axónico abren los canales de Ca^{2+} regulados por voltaje en la membrana. El calcio difunde dentro de la célula según su gradiente electroquímico, lo que desencadena la liberación de las vesículas sinápticas que contienen ACh. Ésta difunde a través de la hendidura sináptica y se combina con los canales receptores nicotínicos que se encuentran sobre la membrana de las células del músculo esquelético.

Los receptores colinérgicos nicotínicos (*nAChR*) son canales iónicos regulados por compuertas químicas que tienen dos sitios de unión para la ACh. Cuando la acetilcolina se une al receptor, la compuerta del canal se abre y permite el paso de cationes monovalentes. La corriente de Na^+ ingresa en la fibra muscular y la despolariza, lo que desencadena un potencial de acción que produce la contracción de la célula del músculo esquelético.

La acción de la acetilcolina sobre la placa terminal motora de un músculo esquelético siempre es excitatoria y produce la contracción muscular. No existe inervación antagonista que relaje los músculos. La relajación se produce cuando las neuronas motoras somáticas son inhibidas por el SNC, lo que impide la liberación de ACh.

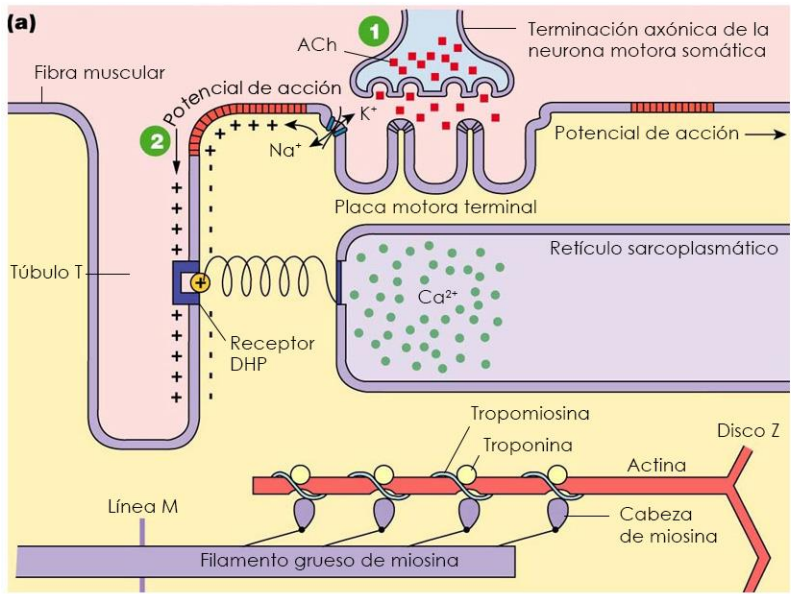


El receptor colinérgico nicotínico se une a dos moléculas de ACh y abre un canal catiónico monovalente inespecífico.

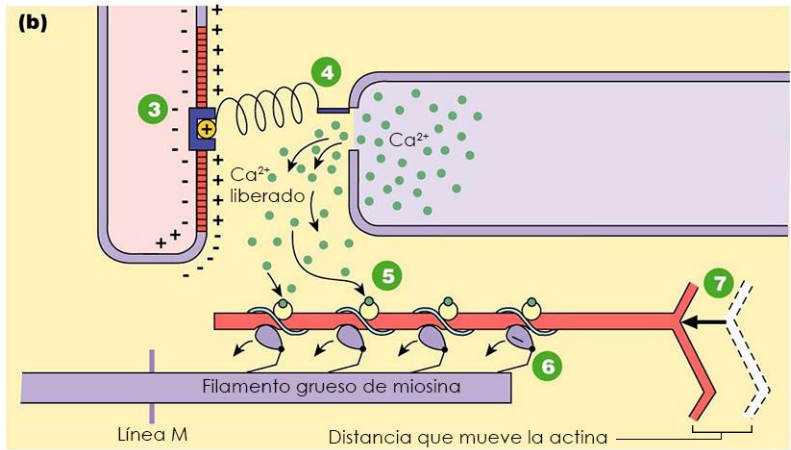


Canal abierto: la ACh unida al receptor permite el pasaje de Na^+ y K^+

10.2.15. ACOPLAMIENTO EXITACIÓN CONTRACCIÓN



- 1 La neurona motora somática libera ACh en la unión neuromuscular.
- 2 La entrada de Na⁺ a través del canal-receptor de ACh inicia el potencial de acción muscular.



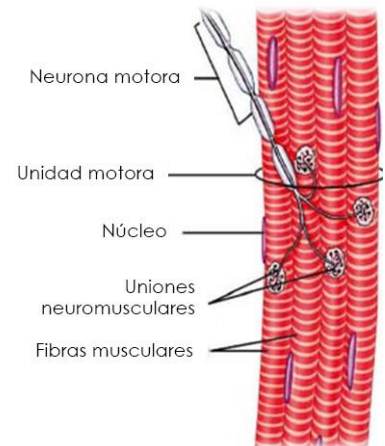
- 3 El potencial de acción en el túbulo T altera la conformación del receptor DHP.
- 4 El receptor DHP abre los canales de liberación de Ca²⁺ en el reféculo sarcoplásmico y el Ca²⁺ entra en el citosol.
- 5 El Ca²⁺ se une a la troponina, lo que permite una unión fuerte actina-miosina
- 6 Las cabezas de miosina ejecutan el golpe de fuerza
- 7 El filamento de actina se desliza hacia el centro del sarcómero

10.2.16. CONCEPTO DE UNIDAD MOTORA

La unidad básica de contracción en un músculo esquelético intacto es la **unidad motora**, compuesta por un grupo de fibras musculares que funcionan juntas y la neurona motora somática que las controla. Cuando la neurona motora somática dispara un potencial de acción, todas las fibras musculares en la unidad motora se contraen.

La cantidad de fibras musculares en una unidad motora varía. En los músculos utilizados para las acciones motoras finas, como los músculos que mueven los ojos o los músculos de la mano, una unidad motora tiene de tres a cinco fibras musculares.

En los músculos utilizados para acciones motoras groseras, como estar de pie o caminar, cada unidad motora puede contener cientos o incluso miles de fibras musculares.



10.2.17. TIPOS DE FIBRA MUSCULAR

Las características funcionales de los músculos esqueléticos son muy diversas. A su vez, esta diversidad se debe en parte a que existen diferentes tipos de fibras musculares, que presentan características funcionales, metabólicas y estructurales diferentes. Tradicionalmente la clasificación de las fibras se realizaba en función del tipo (o *isoforma*) de miosina presente en las mismas.

FIBRAS DE CONTRACCIÓN LENTA

Presentan una actividad ATP-asa lenta, lo que determina que se contraigan lentamente. Obtienen de la vía aeróbica (*oxidación de grasas e hidratos de carbono*) la mayor parte de la energía para contraerse siendo bastante menor la contribución de la glucólisis anaeróbica. Por ello, presentan abundantes mitocondrias y un elevado contenido de enzimas oxidativos.

Este tipo de fibras son utilizadas (*reclutadas*) preferentemente en ejercicios de larga duración y de intensidad baja-moderada, y están especialmente desarrolladas en los músculos de aquellos humanos que participan en deportes de resistencia.

FIBRAS DE CONTRACCIÓN RÁPIDA

En general, son más dependientes de la glucólisis anaerobia como fuente de energía que las de contracción lenta. Por ello, suelen poseer una mayor actividad de las enzimas glucolíticas y, en cambio, menor número de mitocondrias.

Estas fibras se reclutan sobre todo a altas intensidades de ejercicio. Las fibras de contracción rápida se contraen más rápido y son capaces de generar más fuerza que las de contracción lenta, aunque también son más fatigables. Así, estarían especialmente adaptadas para participar en ejercicios físicos intensos pero de breve duración (*deportes "explosivos" como carreras de sprint, saltos, etc.*).

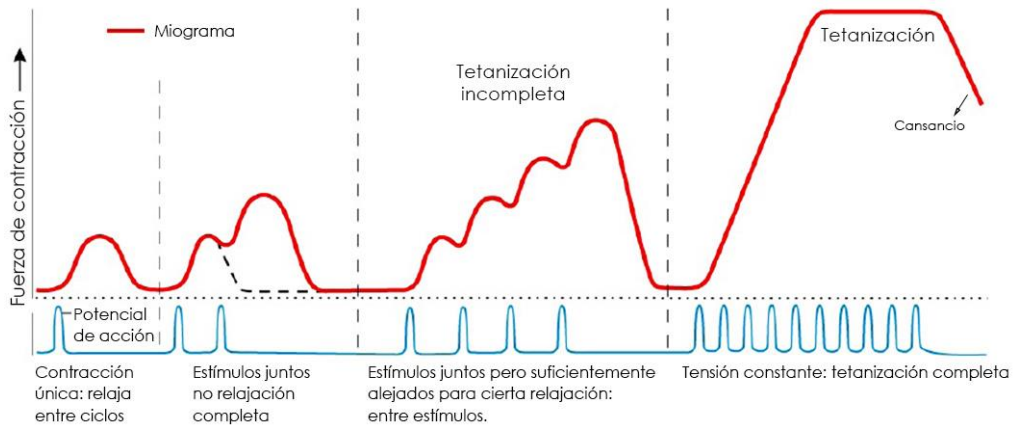
Todas las fibras musculares en una única unidad motora son del mismo tipo. Por lo tanto, existen unidades motoras de contracción rápida y unidades motoras de contracción lenta. El tipo de fibra muscular que se asocia con una neurona particular parece ser una función de la neurona. Durante el desarrollo del embrión, cada neurona motora somática secreta un factor de crecimiento que dirige la diferenciación de todas las fibras musculares en esa unidad motora de modo que desarrollan el mismo tipo de fibra.

Intuitivamente, parecería que los individuos que heredan un predominio de un tipo de fibra sobre otro se destacan en ciertos deportes. En cierta medida es así. Los atletas de resistencia tienen un predominio de fibras de contracción lenta, mientras que los velocistas tienen a tener porcentajes mayores de fibras de contracción rápida. Sin embargo, la herencia no es el único factor determinante de la composición de fibras en el cuerpo, porque las características metabólicas de las fibras musculares se pueden modificar en cierta medida. Con el entrenamiento de resistencia aumenta la cantidad de capilares y de mitocondrias en el tejido muscular, lo que permite que más sangre oxigenada alcance el músculo que se contrae y contribuya al aumento de la capacidad aerobia de las fibras musculares.

10.2.18. FRECUENCIA DE ESTIMULACIÓN

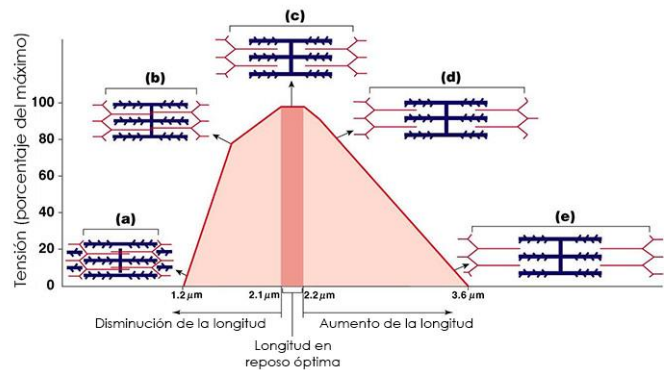
Cuando una fibra muscular esquelética es estimulada por un potencial de acción de la motoneurona correspondiente, y a continuación recibe un segundo estímulo antes de que se haya completado la relajación, la segunda contracción que se produce se fusiona con la primera y genera una tensión muscular

mayor. A este fenómeno se le llama suma o **sumación**. Si la frecuencia del estímulo resulta suficientemente alta, la fibra muscular no puede relajarse, y permanece en un estado contraído denominado **tetanicación**. La tensión muscular desarrollada por una contracción tetánica excede el máximo de una contracción única. Si el estímulo tiene la intensidad suficiente como para excitar todas las fibras musculares de un músculo, entonces éste llega a alcanzar el máximo estado de contracción muscular y se denomina **tetanicación completa**. La **tetanicación incompleta** se da cuando la fibra se relaja ligeramente entre los estímulos. Una fibra muscular o un músculo no permanecen durante períodos prolongados en estado tetanicado debido a la fatiga muscular.



10.2.19. RELACIÓN LONGITUD-TENSIÓN

En una fibra muscular, la tensión desarrollada durante la contracción depende directamente de la longitud de los sarcómeros individuales antes de que comience la contracción. Cada sarcómero se contrae con fuerza óptima si se encuentra en una longitud óptima (*ni demasiado largo ni demasiado corto*) antes de que comience la contracción. Afortunadamente, la longitud de reposo normal de los músculos esqueléticos suele asegurar que los sarcómeros se encuentren en una longitud óptima cuando comienzan una contracción.



A nivel molecular, la longitud del sarcómero refleja la superposición entre los filamentos gruesos y delgados.

- Si las fibras comienzan la contracción con el sarcómero demasiado elongado, los filamentos gruesos y delgados se encontrarán apenas superpuestos, formando pocos puentes cruzados (*gráfico-e*). Esto significa que, en la parte inicial de la contracción, los filamentos que se deslizan pueden interactuar sólo mínimamente y, por lo tanto, no pueden generar mucha fuerza.
- En la longitud óptima (*gráfico-c*), los filamentos comienzan la contracción con muchos puentes cruzados entre los filamentos gruesos y delgados, lo que permite que la fibra genere una fuerza óptima en esa contracción.
- Si el sarcómero es más corto que la longitud óptima al comienzo de la contracción (*gráfico-b*), las fibras gruesas y delgadas tienen demasiada superposición antes de que comience la contracción. En consecuencia, los filamentos gruesos sólo pueden mover a los filamentos delgados una corta distancia antes de que comiencen a superponerse los filamentos de actina delgados de lados opuestos del sarcómero. Esta superposición impide la formación de puentes cruzados.

- Si el sarcómero está demasiado acortado (*gráfico-a*), la miosina es incapaz de encontrar nuevos sitios de fijación para la formación de puentes cruzados.

10.2.20. CARGA

Los músculos pueden crear fuerza y generar movimiento o pueden desarrollar tensión y no producir movimiento. Cuando un músculo se contrae y la tensión que se desarrolla mueve una carga, entonces esa contracción se denomina **isotónica** (*tensión constante*). Si por el contrario, un músculo al contraerse, causa el desarrollo de fuerza sin cambio de longitud muscular, entonces la contracción se denomina **isométrica** (*longitud constante*).

10.3. CONTROL DEL MOVIMIENTO CORPORAL

Los movimientos pueden clasificarse a grandes rasgos en tres categorías: movimiento reflejo, movimiento voluntario y movimiento rítmico. Los **movimientos reflejos** son los menos complejos y son integrados fundamentalmente en la médula espinal. Sin embargo, al igual que otros reflejos espinales, los movimientos reflejos pueden ser modulados por las aferencias de los centros encefálicos superiores. Además, las aferencias sensitivas que inician los movimientos reflejos, como las aferencias de los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi, se dirigen hacia el cerebro y participan en la coordinación de los movimientos voluntarios y los reflejos posturales.

Los **reflejos posturales** que nos ayudan a mantener la posición del cuerpo cuando estamos de pie o nos movemos en el espacio son integrados en el tronco encefálico. Ellos requieren aferencias sensitivas continuas de los sistemas sensitivos visual y vestibular y de los propios músculos. Los receptores musculares, tendinosos y articulares proporcionan información acerca de la propiocepción, las posiciones de las distintas partes del cuerpo relacionadas unas con otras.

Los **movimientos voluntarios** son el tipo más complejo de movimiento. Requieren integración en la corteza cerebral y pueden ser iniciados a voluntad sin estímulos externos. Los movimientos voluntarios aprendidos mejoran con la práctica y algunos incluso se vuelven involuntarios como reflejos.

Los **movimientos rítmicos**, como caminar o correr, son una combinación de movimientos reflejos y movimientos voluntarios. Los movimientos rítmicos se inician y terminan por aferencias de la corteza cerebral, pero una vez iniciados pueden mantenerse sin otras órdenes del cerebro. La actividad rítmica de los músculos esqueléticos en las extremidades se mantiene gracias a redes de interneuronas espinales. Estas interneuronas son generadores centrales de patrones que producen la contracción y relajación alternadas de los músculos en forma repetitiva y rítmica hasta que los instruye para detenerse mediante señales el cerebro.

10.3.1. REFLEJOS MUSCULARES ESQUELÉTICOS

Los reflejos neurales son respuestas rápidas, automáticas, estereotipadas. Pueden clasificarse de diferentes formas:

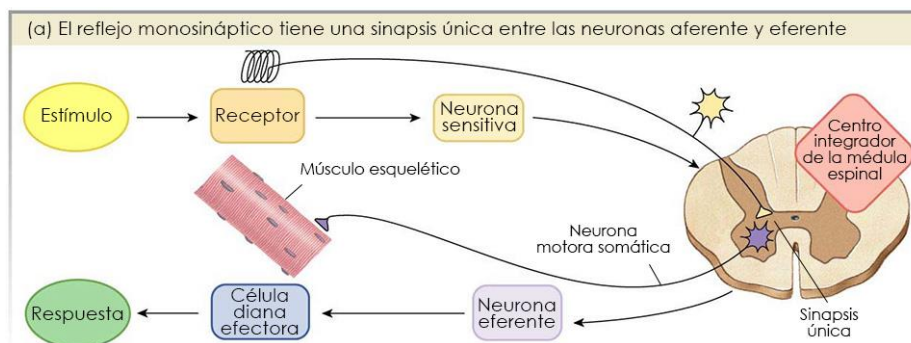
- Por la división eferente del sistema nervioso que controla la respuesta (*reflejos autónomos y reflejos somáticos*).
- Por el sitio en el SNC donde se integra el reflejo (*reflejos espinales, craneales, troncoencefálicos*).
- Por el hecho de que el reflejo sea innato o aprendido.

- Por la cantidad de neuronas en la vía refleja (*monosináptico, polisináptico*).

Aunque no siempre estamos conscientes de ellos, los reflejos musculares esqueléticos participan en casi todo lo que hacemos. Los receptores que detectan los cambios en los movimientos articulares, la tensión muscular y la longitud del músculo transmiten esa información al SNC, el cual responde de una o dos formas. Si la contracción muscular es la respuesta apropiada, el SNC activa las neuronas motoras somáticas hacia las fibras musculares. Si se debe relajar un músculo para lograr la respuesta, las aferencias sensitivas activan interneuronas inhibitorias en el SNC, y estas interneuronas inhiben la actividad en las neuronas motoras somáticas que controlan el músculo.

Los reflejos musculares esqueléticos tienen los siguientes componentes:

- Los receptores sensitivos, conocidos como propioceptores. Controlan la posición de nuestras extremidades en el espacio, nuestros movimientos y el esfuerzo que ejercemos al levantar objetos.
- Las neuronas sensitivas transportan la señal aferente desde los propioceptores hasta el SNC.
- Centro integrador. El SNC integra la señal aferente utilizando redes y vías de interneuronas excitatorias e inhibitorias.
- Las neuronas motoras somáticas transportan la señal eferente.
- Los efectores son fibras musculares esqueléticas contráctiles, también conocidas como fibras musculares extrafusales.



En el cuerpo hay tres tipos de propioceptores: **husos musculares**, **órganos tendinosos de Golgi** y **receptores articulares**. Los receptores articulares se encuentran en las cápsulas y los ligamentos que rodean a las articulaciones en el cuerpo. Son estimulados por la **distorsión mecánica** que acompaña a los cambios en la posición relativa de los huesos conectados por articulaciones flexibles.

10.3.2. HUSO MUSCULAR Y REFLEJO MIOTÁTICO

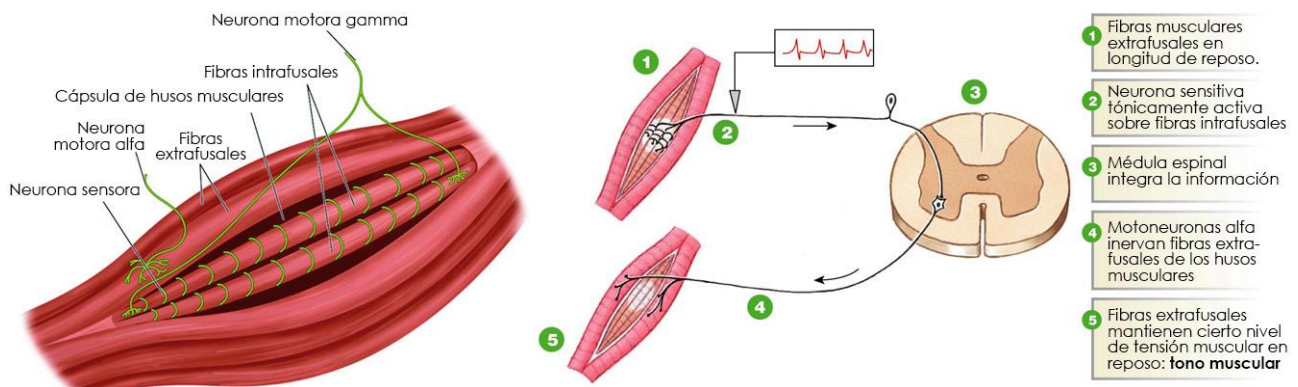
Los **husos musculares** son receptores de estiramiento que envían información a la médula espinal y el encéfalo sobre la longitud del músculo y sus cambios. Son estructuras pequeñas y alargadas, dispuestas paralelamente respecto de las fibras musculares intrafusales contráctiles.

Cada huso muscular consiste en una cápsula de tejido conectivo que encierra un grupo de pequeñas fibras musculares conocidas como fibras **intrafusales**. Las fibras musculares intrafusales están modificadas de modo que los extremos son contráctiles pero la región central carece de miofibrillas. Los extremos contráctiles de las fibras intrafusales tienen su propia inervación por neuronas motoras γ . La región central no contráctil de cada fibra intrafusil está envuelta por terminaciones nerviosas sensitivas que son estimuladas por el

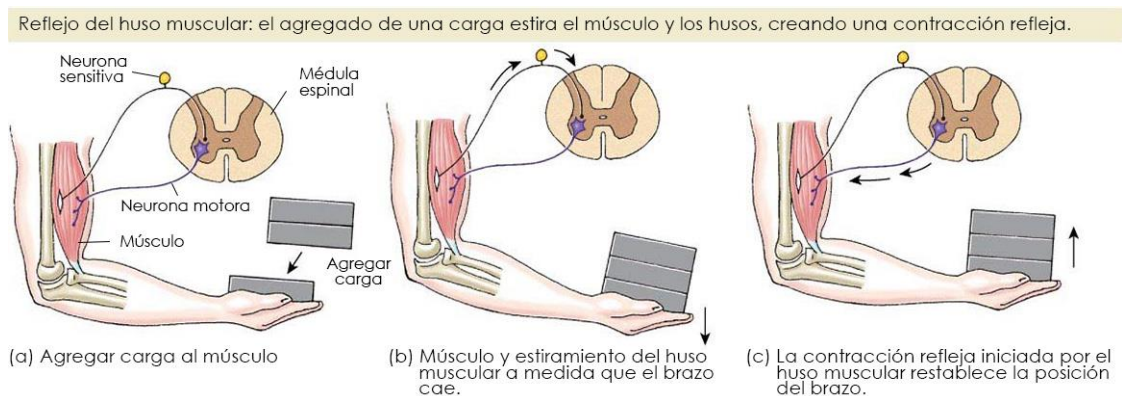
estiramiento. Las neuronas sensitivas proyectan hacia la médula espinal y hacen sinapsis directamente sobre las neuronas motoras α que inervan el músculo en el cual se ubican los husos.

Cuando el músculo se encuentra en su longitud de reposo, la región central de cada huso muscular está estirada lo suficiente como para activar las fibras sensitivas. Por tanto, las neuronas sensitivas desde los husos son tónicamente activas, lo que envía una corriente constante de potenciales de acción hacia el SNC. Debido a esta actividad tónica, aun un músculo en reposo mantiene cierto nivel de tensión, conocido como **tono muscular**.

Los husos musculares están fijados en paralelo a las fibras musculares extrafusales. Cualquier movimiento que aumente la longitud muscular también estirará los husos musculares y hará que las fibras sensitivas disparen más rápidamente. Esto crea una contracción refleja del músculo, que impide el daño por sobreestiramiento. La vía refleja en la cual el estiramiento muscular inicia una respuesta de contracción se conoce como **reflejo miotático**.



Al estirarse el músculo, las señales aferentes a la médula espinal aumentan, aumentan las señales eferentes medulares a través de motoneuronas alfa: el músculo se contrae: contracción agonista y vías inhibitorias relajan músculos antagonistas.



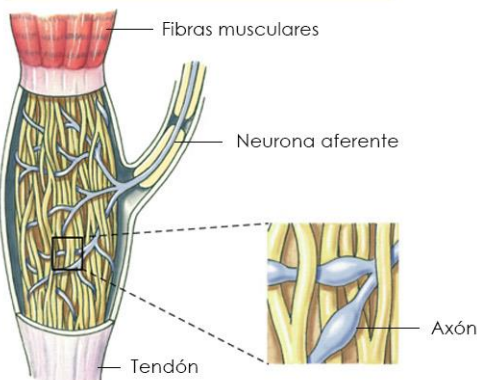
10.3.3. ÓRGANO TENDINOSO DE GOLGI

Un segundo tipo de propioceptor muscular es el **órgano tendinoso de Golgi**. Estos receptores se encuentran en la unión de los tendones y las fibras musculares, en serie con las fibras musculares. Los órganos tendinosos de Golgi responden principalmente a la tensión que desarrolla el músculo durante una contracción isométrica y producen el reflejo de relajación. Éste es el opuesto del de los husos musculares, que producen contracción refleja. Al contrario del huso muscular, el órgano tendinoso de Golgi es relativamente poco sensible al estiramiento muscular.

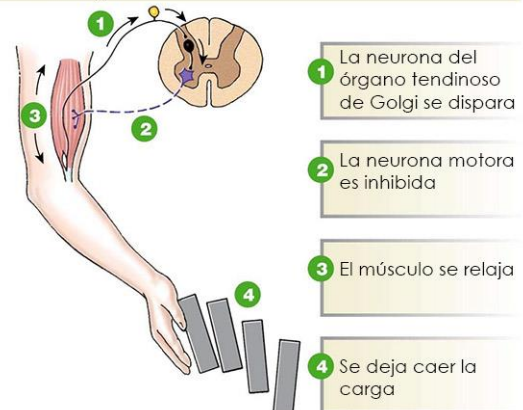
Los órganos tendinosos de Golgi están compuestos por terminaciones nerviosas libres que se entremezclan con las fibras de colágeno en el interior de una cápsula de tejido conectivo. Cuando el músculo se contrae, sus tendones actúan como un componente elástico durante la fase isométrica de la contracción. La contracción tracciona de las fibras de colágeno dentro del tendón y comprime las terminaciones sensitivas de las neuronas aferentes que se disparan.

La información aferente proveniente de la activación de los órganos tendinosos de Golgi excita interneuronas inhibitorias de la médula espinal. Las interneuronas inhiben a las neuronas α que inervan el músculo, y la contracción muscular disminuye o cesa.

Órgano tendinoso de Golgi:
terminaciones nerviosas sensitivas
situadas entre fibras de colágeno



El reflejo tendinoso de Golgi protege al músculo de las cargas excesivamente pesadas al hacer que el músculo se relaje y deje caer la carga



1 La neurona del órgano tendinoso de Golgi se dispara

2 La neurona motora es inhibida

3 El músculo se relaja

4 Se deja caer la carga

10.4. CONTROL MOTOR

El sistema nervioso controla la postura, tono muscular, movimiento del cuerpo y extremidades y el lenguaje mediante:

- Control contracción músculos individuales.
- Control contracción de grupos de músculos agonistas/antagonistas.
- Procesamiento información sensitiva inicio y durante: ajustes correctores constantes.
- Organización jerárquica: niveles.

10.4.1. NIVELES DE CONTROL MOTOR

Tres niveles del sistema nervioso controlan el movimiento:

- 1) La **médula espinal**, que integra los reflejos espinales y contiene generadores centrales de patrones.
- 2) El **tronco encefálico** y el **cerebelo**, que controlan los reflejos posturales y los movimientos de las manos y los ojos.
- 3) La **corteza cerebral** y los **ganglios basales**, que son los responsables de los movimientos voluntarios. El tálamo retransmite y modifica las señales que son enviadas desde la médula espinal, los ganglios basales y el cerebelo hacia la corteza cerebral.

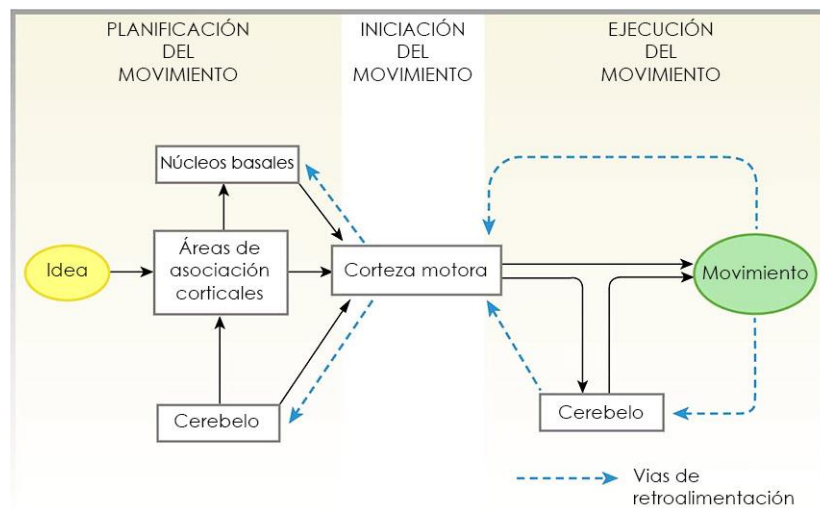
Los movimientos reflejos no requieren aferencias de la corteza cerebral. Los propioceptores proporcionan información a la médula espinal, el tronco encefálico y el cerebelo. El tronco encefálico está a cargo de los reflejos posturales y los movimientos de las manos y ojos. También recibe órdenes del cerebelo, la parte del

encéfalo responsable de la "regulación fina" del movimiento. El resultado es el movimiento reflejo. Sin embargo, se envía cierta información sensitiva a través de las vías ascendentes hasta áreas sensitivas de la corteza, donde puede ser utilizada para planificar movimientos voluntarios.

Los movimientos voluntarios requieren la coordinación entre corteza cerebral, cerebelo y ganglios basales. El control del movimiento voluntario puede dividirse en tres pasos:

- 1) Toma de decisiones y planificación.
- 2) Iniciación del movimiento.
- 3) Ejecución del movimiento.

La corteza cerebral desempeña un papel clave en los dos primeros pasos.



TEMA 11. PRÁCTICAS DE NEUROFISIOLOGÍA

11.1. SISTEMA SENSORIAL

El sistema sensorial nos informa del ambiente que nos rodea y de la posición espacial de las diversas partes de nuestro organismo en relación al medio. También recoge información sobre el estado y funcionamiento de nuestras vísceras, aunque esta información es inconsciente.

La exploración clínica de sistema sensorial, es subjetiva y difícil de cuantificar, especialmente en pacientes que no colaboran o entienden el procedimiento, y ha de realizarse de forma sistemática y simétrica. Este examen debe ser enfocado hacia el área corporal donde se sospecha que existe un deterioro sensorial. Los signos y síntomas encontrados pueden ser el resultado de una lesión casi en cualquier nivel del sistema nervioso (*córtex, tálamo, tronco cerebral, médula, raíz dorsal, nervio periférico o receptor sensorial*). El mejor procedimiento para caracterizar el origen de un trastorno es examinar las modalidades sensoriales principales por separado, registrar la naturaleza del déficit (*cualidad, severidad*), su distribución (*extensión, configuración, simetría*) y los límites entre el área normal y anormal. En general se exploran 5 modalidades sensoriales primarias, siguiendo un orden corporal sistemático (*cabeza, cuello, tronco y extremidades*), y en zonas simétricas. En la piel podemos explorar muchas formas de sensibilidad: dolorosa, táctil, térmica, vibratoria, etc. Para estimular la sensación táctil podemos emplear una torunda de algodón, una punta de un lápiz o una aguja de reflejos. Además pueden explorarse algunas funciones que dependen de la capacidad discriminativa de la corteza. Aquí vamos a seleccionar algunas pruebas sencillas que han de realizarse en parejas (*un alumno es el sujeto y otro el explorador*).

11.1.1. PROYECCIÓN

También llamada localización uni-dimensional. En esta exploración pretendemos conocer la capacidad del individuo para localizar con precisión una presión ligera e instantánea.

METODOLOGÍA

- 1) Se coloca al sujeto con los ojos cerrados.
- 2) Con la aguja de reflejos presionamos en un punto de la palma de la mano y le pedimos al sujeto que nos señale con la punta de un lápiz el punto donde hemos estimulado.
- 3) Se analiza la distancia entre el punto estimulado y el señalado.
- 4) Repetir la exploración 5 veces.

Estudiarla, con la misma metodología, en el dorso de la mano y antebrazo. Establecer el error medio (*en milímetros*) en cada zona estudiada.

Ensayo	Palma de la mano	Dorso de la mano	Antebrazo
1			
2			
3			
4			
5			
Media (mm)			

11.1.2. DISCRIMINACIÓN DEL TACTO ENTRE DOS PUNTOS

Se explora la capacidad del individuo para diferenciar como distintos dos estímulos táctiles próximos.

METODOLOGÍA

El estudio se inicia poniendo las dos puntas del estesiómetro juntas, luego separándolas progresivamente; se busca qué distancia mínima debe haber entre dos estímulos táctiles para que el sujeto experimente dos sensaciones distintas al tacto, en dedos, manos, los brazos y la espalda. Se hacen cinco determinaciones de la distancia mínima para la discriminación de dos puntos en cada una de las cuatro zonas. Se anotan los promedios sobre la siguiente tabla:

Ensayo	Dedo	Mano	Brazo	Espalda
1				
2				
3				
4				
5				
Media (mm)				

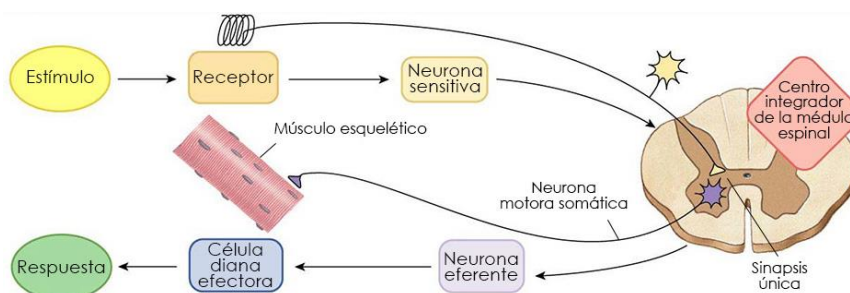


11.2. EXPLORACIÓN SENSITIVO-MOTORA

Gran parte de la información sensorial no se hace consciente y desencadena respuestas motoras elementales de carácter automático e involuntario que reciben el nombre de actividad refleja. Ésta interviene en procesos tales como el mantenimiento de la postura, la coordinación de los movimientos, o la regulación de variables internas. La actividad refleja en el SNC posee diferentes niveles de integración de complejidad creciente desde el simple reflejo miotático de integración espinal hasta los más complejos reflejos de equilibrio que exigen la participación de varias estructuras a nivel central.

Los reflejos son respuestas motoras estereotipadas, automáticas, y realizadas sin control voluntario consciente en respuesta a estímulos que se aplican sobre los receptores sensoriales. Los elementos que participan en un reflejo reciben el nombre de "arco reflejo":

- 1) Un receptor sensorial.
- 2) Una neurona sensitiva que transmite información desde el receptor hasta la médula espinal o tronco encéfalo y conecta con una motoneurona (somática o víscera).
- 3) Una neurona motora que conduce los impulsos originados en la médula o el tronco encefálico hasta el efector. En algunos reflejos existe una o varias interneuronas entre la neurona sensitiva y motora.
- 4) Un órgano efector: que puede ser músculo esquelético, cardíaco o una glándula de secreción.



Los reflejos pueden clasificarse desde varios puntos de vista:

- 1) Según la división eferente que controla la respuesta pueden ser **somáticos** (respuestas controladas por neuronas motoras somáticas) o **autónomos** (neuronas autónomas).
- 2) Según el lugar donde se integra el reflejo pueden ser: espinales (si se integran en la médula espinal), tronco-encefálicos, craneales, etc. Los reflejos espinales pueden ser modulados por aferencias superiores del encéfalo.
- 3) Por el hecho de que sean **innatos** o **aprendidos**.
- 4) Por la cantidad de neuronas que componen la vía refleja: reflejos **monosinápticos** (una sola sinapsis; entre la neurona sensitiva y la motora) o **polisinápticos** (al menos dos sinapsis; entre la neurona aferente y eferente se intercalan 1 o varias interneuronas).

Los reflejos espinales somáticos se inician cuando un estímulo adecuado incide sobre receptores musculares o cutáneos, y se activan respuestas motoras reflejas simples que se observan en sujetos normales. Pueden ser monosinápticos o polisinápticos, y están modulados por la actividad de las vías motoras centrales descendentes. Esto significa que diversas estructuras supraespinales influyen sobre los circuitos de la médula espinal facilitando o inhibiendo la vía final común, y la expresión del reflejo.

11.2.1. REFLEJOS DE ESTIRAMIENTO MUSCULAR

Se llaman también miotáticos. Se inician por estimulación de los husos musculares por estiramiento de la fibra muscular. Son reflejos monosinápticos que se producen cuando estimulamos los receptores musculares a la distensión (*husos musculares*).

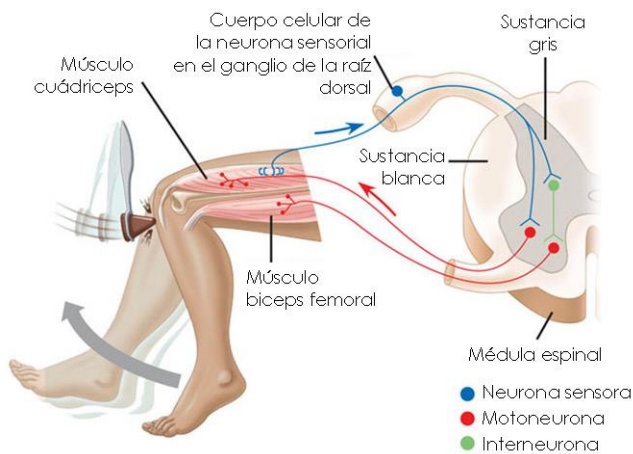
Estos reflejos normalmente están parcialmente inhibidos por centros superiores, por lo que al lesionarse dichos centros o sus vías de comunicación, las repuestas reflejas se incrementan. También pueden estar ausentes si falla algún elemento del arco reflejo. Para conseguir resultados fidedignos el paciente debe recibir órdenes claras y concisas, debe estar relajado, y con la atención alejada de la exploración que se le practica. Cuando los reflejos resultan difíciles de provocar se utilizan maniobras de refuerzo que los intensifican, por ejemplo apretar los dientes o intentar separar las manos entrelazadas, maniobra conocida como **maniobra de Jendrassik**.

Existen muchos reflejos de este tipo, en la práctica se examinan solo los reflejos de estiramiento de algunos grupos musculares clave, nosotros solo vamos a explorar los siguientes:

REFLEJO PATELAR O ROTULIANO (L2-L3-L4)

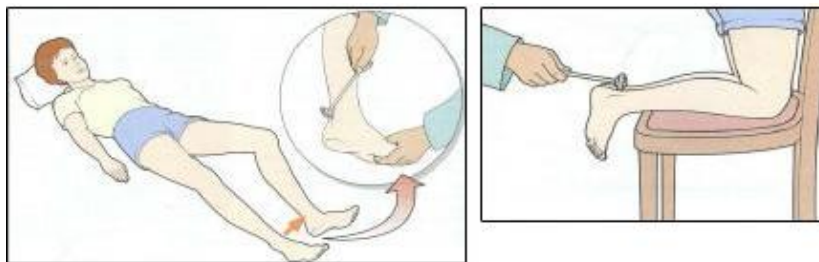
- 1) El sujeto se sienta al borde de la camilla o en la cama con los pies colgando (*puede hacerse también con las piernas cruzadas*).
- 2) Se busca con la mano el tendón del cuádriceps que se encuentra en la parte inferior de la rótula.
- 3) Al golpear (*un golpe seco, pero suave*) con el martillo de reflejos se produce la extensión de la pierna.

Repetir la prueba varias veces, explorar las dos piernas, valorar el reflejo cuando el sujeto voluntariamente bloquee la respuesta (*pedirle que impida el movimiento*) o cuando el individuo hace otra contracción muscular (*Jendrassik*).



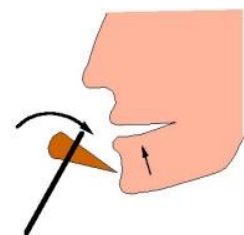
REFLEJO DEL TENDÓN DE AQUILES (S1-S2)

Para explorar este reflejo y buscar el tendón de Aquiles, se pide al sujeto que se ponga de rodillas en una silla, dejando colgar los pies por fuera sin contraer ningún músculo. Se percute con el martillo el tendón de Aquiles provocándose la flexión plantar del pie. Al igual que en caso anterior: explorar ambas piernas y valorar las situaciones de bloqueo y facilitación del reflejo.



REFLEJO MENTONIANO O MASETERINO

El sujeto mantiene la boca entreabierta, se percute sobre el pulgar del explorador, que lo ha colocado previamente en la barbilla del sujeto. Se produce el cierre brusco de la boca.



OTROS

Existen otros reflejos de este tipo como el **bicipital**, (sobre el tendón del bíceps con flexión del antebrazo), o el **tricipital** (tendón del tríceps, por encima del olécranon, se observa extensión del codo), etc.

11.2.2. REFLEJOS SUPERFICIALES

Estos reflejos son polisinápticos, y se desencadenan cuando estimulamos receptores situados en la piel, mucosas o córnea provocando contracción refleja de la musculatura. Entre estos vamos a explorar:

REFLEJO CUTÁNEO-PLANTAR (S1)

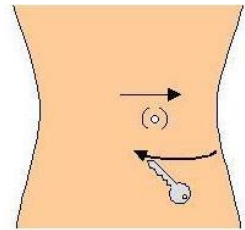
Se provoca rasgando enérgicamente con un objeto de punta roma (*mango del martillo*) el borde externo de la planta del pie, desde el talón a los dedos. El reflejo normal consiste en la flexión de los dedos del pie.

Cuando el dedo gordo se dirige hacia arriba, y el resto de los dedos se separan entre sí (*!*), nos indica que existe una lesión en el haz corticoespinal. Este signo es normal hasta los 18 meses de vida, antes de la maduración de esta vía nerviosa.



REFLEJO ABDOMINAL

También se le conoce como reflejo cutáneoabdominal. El sujeto se tumba en decúbito supino y se le pasa la aguja de reflejos por la piel del abdomen, lateral y por fuera de la línea media. Se produce la contracción refleja de los músculos abdominales con desviación del ombligo hacia el lado estimulado.



OTROS

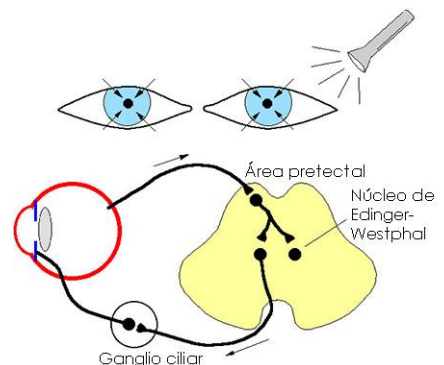
Dentro de este grupo existen otros reflejos, como corneal (*la estimulación de la córnea con una torunda de algodón provoca el cierre palpebral*), reflejo cremastérico, velopalatino, etc.

11.2.3. REFLEJOS VISCERALES

Son reflejos **polisinápticos**, en los que participan las vías del **sistema nervioso autónomo**. Muchos de estos reflejos son difíciles de explorar, sin embargo, sí podemos valorar:

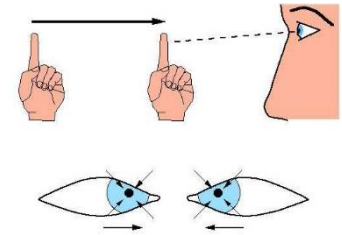
REFLEJO PUPILAR

Ante un aumento de la intensidad luminosa el ojo responde disminuyendo el diámetro pupilar y cuando desciende la luz, la pupila aumenta su tamaño. Para explorar este reflejo, pedimos al sujeto que cierre los ojos por un periodo de 1-2 minutos y observamos el tamaño de sus pupilas. A continuación, iluminamos (*utilizar la linterna*) los ojos y observamos la reacción pupilar. Realizar la prueba cambiando de ojo.



REFLEJO DE PARPADEO

Al aproximar rápidamente un objeto, o golpear suavemente con el martillo entre los ojos, se produce una contracción del músculo orbicular de los párpados que cierra los ojos. Es un reflejo de defensa pero se adapta rápidamente. En caso de patología, el parpadeo persiste sin que ocurra adaptación.



11.2.4. IMPORTANCIA CLÍNICA DE LA EXPLORACIÓN DE LOS REFLEJOS

En la evaluación funcional del sistema Nervioso es imprescindible la exploración de los reflejos, ya que ésta brinda información objetiva sobre la integridad de los sistemas sensorial y motor y contribuye a precisar la topografía de una lesión. La existencia de un reflejo normal o fisiológico indica la integridad de los componentes del arco reflejo, y de las estructuras superiores que lo modulan. La exploración cuantitativa y cualitativa de los reflejos puede aparecer como índice precoz de disfunción neurológica, y orienta al clínico sobre la localización central o periférica del trastorno.

La exploración de los reflejos exige una gran preparación por parte del explorador ya que frecuentemente las respuestas son muy variables entre los individuos explorados. A lo largo de esta práctica estudiaremos algunos reflejos y las respuestas que determinan. Una respuesta refleja puede ser **anormal** atendiendo a dos tipos de respuesta:

- La respuesta refleja es **inadecuada** o inapropiada: no corresponde a lo que cabría esperar. Por ejemplo, si al explorar un reflejo obtenemos una extensión cuando sabemos que la respuesta normal debería ser una flexión.
- El **grado de la respuesta** refleja puede ser anormal: el estímulo no produce respuesta (*arreflexia*) o ésta es exagerada (*hiperreflexia*).

Por ello, en la exploración es conveniente anotar si los reflejos estudiados son adecuados o inadecuados (*en cuanto a su naturaleza*) y valorar la intensidad de la respuesta (*ausente, disminuido, normal, aumentado*).

Tabla 1. Escala de graduación de reflejos motores.

Intensidad de la respuesta motora	
No respuesta	0
Ligeramente disminuida	1/+
Normal	2/++
Más intensa a lo normal o aumento del área reflexógena	3/+++
Exaltados	4/++++

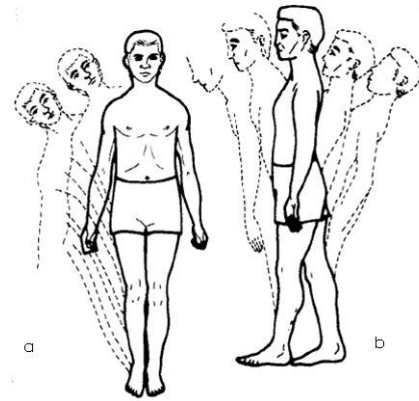
11.3. COORDINACIÓN

La coordinación motora depende de muchos mecanismos y aunque el centro nervioso más implicado es el cerebelo, también participan los ganglios basales. El cerebelo recibe información de:

- El sistema visual que posibilita el conocimiento de la posición espacial de nuestro cuerpo y la relación con los objetos del mundo que nos rodean.

- El sistema vestibular que procesa la información recogida por los conductos semicirculares (*aceleración angular*) y por los órganos vestibulares (*posición de la cabeza y aceleración lineal*).
- Los órganos propioceptivos de músculos, tendones y articulaciones.

La información recogida por estos tres sistemas va al cerebelo donde se coordina la postura y la marcha, así como la posibilidad de realizar movimientos voluntarios complejos.



Maniobra de Romberg simple (a) y Romberg sensibilizada (b). Las imágenes con trazo discontinuo representan ejemplos de signo de Romberg

EXPLORACIÓN DE LA POSTURA

La **coordinación estática** se explora mediante la prueba de **Romberg**: se coloca al sujeto con los pies juntos, los brazos caídos y los ojos abiertos. Esta postura debe mantenerse aunque el individuo cierre los ojos. Si al cerrar los ojos pierde el equilibrio uno de los dos sistemas, el vestibular o el propioceptivo están alterados. Si el sujeto está muy inestable, y después de cerrar los ojos mantiene la misma inestabilidad, los sistemas de información funcionan bien pero existe una alteración cerebelosa. Se puede incrementar la sensibilidad de la prueba colocando un pie detrás de otro, como muestra la figura b).

EXPLORACIÓN DE LA MARCHA

Se indica al sujeto que realice la siguiente maniobra: caminar 10-15 pasos y volver al lugar de origen. Después debe de realizar la misma maniobra pero con los ojos cerrados. Si las pruebas se hacen sin dificultad significa que todos los sistemas de coordinación funcionan con normalidad. Si el sujeto presenta una marcha inestable, que no se modifica al cerrar los ojos, sugiere la existencia de un problema cerebeloso; si al cerrar los ojos se desvía, el problema será vestibular.

EXPLORACIÓN DE LA COORDINACIÓN DE MOVIMIENTOS

- **Prueba dedo-nariz**: indicamos al sujeto que lleve su dedo a su nariz y hacia nuestro dedo, que está situado a una cierta distancia. Lo repite varias veces, primero con los ojos abiertos, después con los ojos cerrados.



- **Prueba talón-rodilla**: el sujeto coloca el talón en la rodilla de la otra pierna y lo va deslizando sobre la cresta tibial hacia el dorso del pie. Realizar la maniobra varias veces, primero con los ojos abiertos y después cerrados. El individuo sin afectación de los sistemas motoras y de los mecanismos de coordinación realiza el movimiento de forma precisa. Cuando existe un problema cerebeloso se produce un movimiento oscilante. Si existe un problema en el sistema propioceptivo, los movimientos se realizan con normalidad con los ojos abiertos. Sin embargo, cuando el sujeto cierra los ojos, aunque los movimientos son uniformes, se desvían, se pasan o no llegan.

EXÁMENES DE AÑOS ANTERIORES

Examen 23 de Mayo de 2012

<p>1. Respecto al desarrollo de un potencial de acción, es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) En la despolarización, primero se cierran y luego se abren los canales de sodio.b) En la despolarización se abren los canales de potasio y luego los de protones.c) En la hiperpolarización, el potencial de membrana se hace más positivo con respecto al potencial de reposo.d) La fase de despolarización hace el potencial de membrana menos negativo con respecto al potencial de membrana en reposo.e) Al alcanzarse el potencial umbral, se inicia la repolarización en la célula.	<p>2. Señale la afirmación falsa respecto a los potenciales graduados o locales:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Son señales eléctricas que pierden intensidad al propagarse.b) Los potenciales locales son directamente proporcionales a la intensidad del estímulo desencadenante.c) Son señales eléctricas de intensidad variable.d) Si alcanzan la zona gatillo y despolarizan la membrana hasta un valor superior al potencial umbral se extinguirán.e) Son despolarizaciones o hiperpolarizaciones.
<p>3. Sobre la sinapsis química señalar la cierta:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La neurona presináptica y postsináptica están unidas por una interneurona.b) Requieren la presencia de uniones en hendidura.c) Las señales entre células se transmiten sin necesidad de neurotransmisores.d) Se produce el paso directo del potencial de acción del citoplasma de una célula a la otra.e) Todas son falsas.	<p>4. Respecto al potencial de membrana en reposo es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Es la diferencia de potencial que existe a ambos lados de la membrana nuclear en las células excitables.b) Se establece gracias a la alta permeabilidad de las membranas al sodio.c) Está determinada por la alta difusión al K^+ a través de las membranas celulares.d) Se establece gracias al gran flujo de cargas negativas hacia el exterior de la célula en reposo.e) Se establece gracias al gran flujo de cargas positivas hacia el interior de una célula en reposo.
<p>5. Durante el _____ la neurona puede ser estimulada y generar un potencial de acción. Sin embargo el estímulo debe ser mayor de lo normal.</p> <ul style="list-style-type: none">a) Potencial sináptico inhibitor.b) Potencial de equilibrio.c) Periodo refractario absoluto.d) Punto isoeléctrico.e) Ninguna de las anteriores.	<p>6. ¿Cuál de las siguientes estructuras confiere protección a la médula espinal?</p> <ul style="list-style-type: none">a) Vértebras.b) Meninges.c) Líquido cefalorraquídeo.d) Todas.e) Ninguna.
<p>7. La especificidad de las fibras nerviosas para transmitir una sola modalidad de sensación se denomina:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Principio de Boyle.b) Principio de la línea marcada.c) Principio de localización de un estímulo.d) Ninguna de las anteriores.e) A y B son ciertas.	<p>8. Una sordera que afecta principalmente a la percepción de los sonidos de alta frecuencia puede deberse a:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Una lesión en el vértice de la cóclea.b) Un taponamiento del oído externo.c) Una lesión en la base de la membrana basilar.d) Una alteración en los receptores en las crestas de los canales semicirculares.e) Una lesión en la mácula.
<p>9. Respecto a la contracción del músculo liso es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La Ach se une a receptores nicotínicos en la placa motora.b) Reciben para su contracción señales del SN somático a través de motoneuronas.c) Se produce la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico.d) El calcio se une a la troponina en el ciclo de contracción.e) Todas son falsas.	<p>10. El nivel inferior y más básico del control motor corresponde a el/la:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Encéfalo.b) Médula espinal.c) Corteza somatosensorial.d) Cerebelo.e) Ganglios basales.

Examen Mayo de 2012 (Sakai)

<p>11. Con respecto a la conducción del impulso nervioso:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La conducción saltatoria tiene lugar en los axones sin mielina.b) La conducción continua ocurre en axones mielinizados.c) La conducción saltatoria requiere más despolarización inicial que la conducción continua.d) La conducción nerviosa no dependen del diámetro de la fibra nerviosa.e) Todas son falsas.	<p>12. En cuanto a reflejos es falso que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Son respuestas automatizadas realizadas sin control voluntario consciente.b) Se inician por estímulos que se aplican en receptores sensoriales.c) Pueden ser reflejos somáticos o viscerales.d) Pueden ser reflejos innatos.e) Se integran normalmente en la corteza motora primaria.
<p>13. Los tractos espinales:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Forman parte de la sustancia blanca.b) Conducen información motora hacia el encéfalo.c) Transportan señales sensitivas desde el encéfalo.d) Están formados por un número reducido de fibras nerviosas amielínicas.e) Todas son falsas.	<p>14. Respecto a la barrera hematoencefálica es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Es una barrera con anatomía muy bien definida.b) Protege al Sistema nervioso periférico de sustancias potencialmente nocivas que se encuentran en sangre.c) En su estructura destacan las uniones laxas entre las células endoteliales.d) El paso de glucosa está muy dificultado.e) Todas son falsas.
<p>15. Las células de sostén que forman las vainas de mielina en el sistema nervioso central son:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Oligodendrocitos.b) Células satélite.c) Astrocitos.d) Células de Schwann.e) Ninguna.	<p>16. En la corteza cerebral las áreas de asociación:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Reciben aferencias sensitivas únicamente de la corteza visual.b) Dirigen el movimiento del músculo liso.c) Dirigen la secreción de las glándulas del organismo.d) Convierten información sensitiva en percepción.e) Son las responsables del sueño de ondas lentas.
<p>17. En cuanto al cerebelo es cierto que :</p> <ul style="list-style-type: none">a) Monitoriza y sincroniza las actividades motoras.b) Recibe información actualizada sobre la posición y contracción de los músculos.c) Participa en el control de la postura.d) Participa en el control de los movimientos finos.e) Todas son ciertas.	<p>18. La despolarización de un axón se produce por:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La entrada de Na^+ por difusión.b) La salida activa de K^+.c) La salida de K^+ por difusión.d) La salida de Ca^{+2} por difusión.e) La entrada de Na^+ por transporte activo.
<p>19. En relación a una sinapsis química es falso que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Los neurotransmisores actúan en la sinapsis y producen una respuesta rápida.b) Los receptores muscarínicos transforman un estímulo químico en cambios en el potencial de membrana de la célula postsináptica.c) Un potencial postsináptico excitatorio, disminuye la probabilidad de que la célula postsináptica dispare un potencial de acción.d) Un potencial postsináptico inhibitorio produce hiperpolarización de la membrana postsináptica.e) En la inhibición presináptica, una neurona moduladora disminuye la liberación de neurotransmisor en la sinapsis.	<p>20. Uno de estos tipos de neurorreceptores transforma energía mecánica en potenciales de acción:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Termorreceptor.b) Fotorreceptor.c) Célula ciliada de la mácula.d) Quimiorreceptores.e) Ninguna de ellas.

<p>21. Si un paciente es incapaz de oír sonidos de baja frecuencia, la lesión de la membrana basilar se encuentra cercana a:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Helicotrema. b) Ventana Oval. c) Canal semicircular vertical. d) Ampolla. e) Ninguno de ellos. 	<p>22. El punto final de la información referente a tacto, dolor, temperatura, picor, procedente de la piel es:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La corteza visual primaria. b) La corteza motora. c) El área premotora. d) La corteza somatosensorial. e) Ninguna de las anteriores.
<p>23. Son soluciones isotónicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) NaCl al 1.9%. b) Glu al 0.5%. c) Agua destilada. d) NaCl al 1.9% y Glu al 0.5%. e) Ninguna. 	<p>24. Con respecto a un potencial de acción:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Su intensidad depende de la intensidad del estímulo. b) Se inicia cuando varios potenciales graduados se cruzan en la zona gatillo creándose un potencial subumbral. c) Durante la fase de despolarización se abren los canales para el K⁺ y Na⁺. d) Durante la fase de repolarización se cierran los canales para el K⁺. e) Todas son falsas.
<p>25. Con respecto a la codificación de la información sensorial, es cierto qué:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) A mayor intensidad del estímulo los potenciales de acción llegan a la neurona sensitiva primaria con mayor frecuencia. b) La localización del estímulo depende únicamente del tiempo de activación de los receptores. c) La modalidad (naturaleza) del estímulo depende del número de receptores sensoriales estimulados. d) A y B son ciertas. e) A y C son ciertas. 	<p>26. En relación a las sinápsis:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La neurona presináptica conduce impulsos nerviosos lejos de la sinápsis. b) La neurona postsináptica conduce impulsos nerviosos hacia la sinápsis. c) Una sinápsis es el punto donde se encuentran dos neuronas o una neurona y un efector. d) La sinápsis entre una neurona y una glándula se llama unión neuromuscular. e) A y B son verdaderas.
<p>27. Respecto a la visión es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La luz es enfocada en la retina por la fovea. b) Los axones de las células amacrinas forman el nervio óptico. c) Cuando la luz incide sobre el pigmento visual de los bastones, se produce un aumento en la liberación de neurotransmisor. d) Los fotorreceptores se encuentran en la capa más superficial de la retina. e) Todas son falsas. 	<p>28. Los mecanismos de control en el organismo son :</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Más frecuentemente de retroalimentación negativa. b) La mayoría son de retroalimentación positiva. c) Poco importantes en el mantenimiento de la homeostasis. d) A y C son verdaderas. e) Todo lo anterior es falso.
<p>29. Durante la contracción muscular es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Todos los sarcómeros de una fibra muscular se acortan al mismo tiempo. b) Todas las fibras de un músculo deben contraerse al mismo tiempo para que el músculo pueda ejercer su acción. c) Durante la contracción muscular los filamentos de actina se acortan. d) La contracción muscular no se ve modificada por la longitud inicial del sarcómero. e) En la contracción del músculo liso, el complejo troponina-Ca⁺² desplaza la tropomiosina lejos del sitio de unión de la miosina a Actina G. 	<p>30. Respecto a los canales iónicos de membrana que participan en el potencial de acción es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Transportan Mg⁺² en contra de gradiente de concentración. b) Transportan Na⁺ y K⁺ a la vez en contra de gradiente. c) Son activables por cambios en el potencial de membrana. d) Permanecen siempre abiertos incluso en reposo. e) Los canales de K⁺ son responsables de los períodos refractarios relativos.

<p>31. La interacción sustancia gustativa-receptor desencadena una señal liberadora de ____ y liberación de ____ en la célula gustativa.</p> <p>a) Sodio; umami. b) Litio; ácido. c) Calcio; neurotransmisores. d) Sodio; potencial graduado. e) Ninguna de las opciones.</p>	
Examen 2011	
<p>32. Respecto al potencial de membrana en reposo, es cierto que:</p> <p>a) Es la diferencia de potencial que existe a ambos lados de la membrana nuclear en las células excitables. b) Se establece gracias a la alta permeabilidad de las membranas al sodio. c) Se establece gracias al gran flujo de cargas negativas hacia el exterior de la célula en reposo. d) Se establece gracias al gran flujo de cargas positivas hacia el interior de la célula en reposo. e) Está determinada por la alta permeabilidad de K^+ de las membranas celulares.</p>	<p>33. Los neurorreceptores:</p> <p>a) Son transductores de estímulos en potenciales de reposo. b) Cada tipo de receptor está especializado en responder a un tipo de energía. c) Actúan siempre hiperpolarizándose ante un determinado estímulo. d) Son activados esencialmente por estímulos de tipo térmico. e) Son, en todos los casos, células de estirpe nerviosa.</p>
<p>34. Sobre la conducción continua de los potenciales de acción, señalar la cierta:</p> <p>a) Supone el movimiento de alta velocidad de un potencial de acción con decremento de intensidad a través del axón. b) Se produce en las células musculares lisas. c) Se produce en las fibras nerviosas amielínicas. d) Es más rápida que la conducción saltatoria. e) Todas son falsas.</p>	<p>35. Respecto al desarrollo de un potencial de acción, es cierto que:</p> <p>a) En la hiperpolarización, el potencial de membrana se hace más positiva con respecto al potencial de reposo. b) En la despolarización, primero se cierran y luego se abren los canales de sodio. c) En la despolarización se abren los canales de potasio y luego los de protones. d) Al alcanzar el potencial umbral, se inicia la repolarización en la célula. e) La fase de despolarización hace que el potencial de membrana sea menos negativo con respecto al potencial de reposo.</p>
<p>36. Durante el ____ la membrana puede ser estimulada y generar un potencial de acción. Sin embargo debe ser mayor de lo normal.</p> <p>a) Potencial de equilibrio. b) Potencial postsináptico inhibitor. c) Punto isoeléctrico. d) Periodo refractario absoluto. e) Ninguna de las anteriores.</p>	<p>37. Sobre la sinapsis eléctrica, señale la cierta:</p> <p>a) Un ejemplo de sinapsis eléctrica es la unión neuromuscular. b) Permite el paso directo del potencial de acción de una célula a otra a través de las uniones en hendidura. c) Utiliza un mediador químico o neurotransmisor, que produce despolarización o hiperpolarización en la membrana postsináptica. d) La transmisión de la información de una neurona a otra se realiza exclusivamente de modo unidireccional. e) La especificidad de la comunicación nerviosa depende del neurotransmisor liberado.</p>
<p>38. Una estructura encefálica relacionada tanto con el aprendizaje como con la memoria es el/la:</p> <p>a) Hipófisis. b) Protuberancia. c) Núcleo supraquiasmático. d) Hipocampo. e) Hipotálamo.</p>	<p>39. Los receptores del sonido:</p> <p>a) Presentan puentes de proteínas entre los estereocilios. b) Se localizan en el oído medio. c) Su localización en la membrana basilar codifica la intensidad del sonido. d) Forman los otolitos en los canales semicirculares. e) C y D son ciertas.</p>

<p>40. Cuando la acetilcolina es liberada en la unión neuromuscular:</p> <ol style="list-style-type: none"> Su unión a receptores de la membrana de la célula muscular produce el cierre de los canales de sodio. Atraviesa por difusión la membrana de la célula muscular. Es degradada por la acetilcolinesterasa intracelular. Provoca un potencial de acción en la célula muscular. El calcio se dirige hacia el interior del retículo sarcoplásmico intracelular. 	<p>41. En el desarrollo del reflejo rotuliano ¿Cuántas sinapsis se activa/n y dónde?.</p> <ol style="list-style-type: none"> Miles / ganglios basales. Una / médula espinal. Una / tendón de la rótula. Cientos / cerebelo. Ninguna de las anteriores es cierta.
<p>42. ¿Cuál de las siguientes estructuras confiere protección a la médula espinal?</p> <ol style="list-style-type: none"> Vértebras. Meninges. Líquido cefalorraquídeo. Todas. Ninguna. 	<p>43. Con respecto al transporte de sustancias a través de la membrana celular es cierto que:</p> <ol style="list-style-type: none"> La velocidad de difusión simple de una de una sustancia a través de las membranas depende únicamente de la solubilidad en lípidos. La $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$ (bomba Na^+/K^+) mantiene los gradientes de concentración de Na^+ y K^+ a través de las membranas celulares. El movimiento de agua, cuando no existe gradiente de presión osmótica entre ambos lados de una membrana se denomina ósmosis. El CO_2 atraviesa la membrana respiratoria usando transportadores específicos. Las moléculas iónicas pequeñas atraviesan los epitelios por endocitosis.

Examen recuperación parcial 2009

<p>44. Sobre la homeostasis señalar la verdadera:</p> <ol style="list-style-type: none"> Es el estado del hombre en el que los parámetros varían constantemente. Es el mantenimiento estable del medio ambiente externo. Es el equilibrio estático del medio ambiente externo para que no varíe la glucemia corporal. Es la base de la fisiología. Es un estado patológico que produce enfermedad. 	<p>45. Sobre la bomba Na^+/K^+, señalar la falsa:</p> <ol style="list-style-type: none"> Es un mecanismo de transporte que saca Na^+ de la célula. Es un mecanismo de difusión facilitada. Es electrogénica. Transporta más Na^+ que K^+. Contribuye a mantener el potencial de membrana en reposo.
--	--

<p>46. En el punto C de la figura 1 se está produciendo:</p> <ol style="list-style-type: none"> Una despolarización. Una hiperpolarización. Una repolarización. Un potencial local. Una contracción. 	<p>47. Si en la figura 1 digo que "el potencial de membrana se vuelve menos negativo", me refiero a la/s porción/es de la gráfica:</p> <ol style="list-style-type: none"> A B C D A y D
--	---

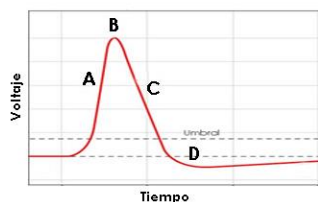


Figura 1



Figura 2

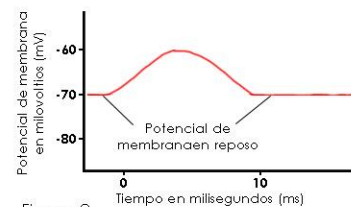


Figura 3

48. Se ha producido un potencial local (graduado) despolarizante en:

- a) Figura 1
- b) Figura 2.
- c) Figura 3.
- d) Porción A de la figura 1.
- e) Porción D de la figura 1.

50. En la figura 4, se originan los potenciales de acción en:

- a) A.
- b) B.
- c) C.
- d) D.

49. En la figura 4: ¿Cuál es el sector de la membrana con canales de Ca^{2+} regulados por voltaje?

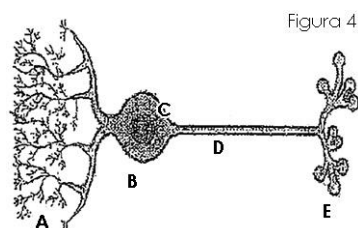
- a) A.
- b) B.
- c) C.
- d) D.
- e) E.

51. En la figura 4: ¿Cuál es el sector de la membrana con canales iónicos de Na^+ y K^+ regulados por voltaje?

- a) A.
- b) B.
- c) C.
- d) D.

52. Si hablamos de las neuronas que ajustan la sensibilidad del uso muscular, nos referimos a:

- a) Motoneuronas alfa (α).
- b) Motoneuronas gamma beta (β).
- c) Motoneuronas gamma (γ).
- d) Neuronas sensitivas.
- e) Interneuronas.



Otras preguntas

53. Señale la falsa:

- a) La mayor parte del cuerpo humano es agua que está dentro de las células o líquido intracelular.
- b) La difusión simple y la difusión facilitada son procesos de transporte activo.
- c) Las células de nuestro organismo viven en el medio interno o espacio extracelular.
- d) El principal catión del líquido extracelular es el sodio (Na^+) y el principal anión el cloro (Cl^-)
- e) El transporte activo primario es realizado por bombas iónicas o ATP-asas.

54. En cuanto a la membrana plasmática es falso que:

- a) Está formada principalmente por fosfolípidos en forma de "bicapa lipídica" y proteínas.
- b) Los carbohidratos se encuentran unidos a proteínas y a lípidos.
- c) Es flexible y selectiva permitiendo el paso de sustancias a su través.
- d) A mayor tamaño y mayor solubilidad en agua, mayor difusión a través de la membrana.
- e) Es permeable al O_2 , el CO_2 , agua y las vitaminas liposolubles.

55. En cuanto al transporte a través de la membrana es cierto que:

- a) En la difusión simple las moléculas se mueven del lado de menor al de mayor concentración.
- b) Los iones se transportan de forma pasiva a través de canales específicos en contra de gradiente electroquímico.
- c) Los diabéticos pueden tener glucosa en orina porque su transporte es saturable.
- d) Los hematíes en una solución hipertónica aumentan de tamaño hasta romperse.
- e) Una solución de NaCl al 0,9% tiene una osmolaridad de 100 mOsM por eso es hipertónica.

56. En relación a las bases de la electrofisiología celular, señale la cierta:

- a) Hay un ligero exceso de cargas (-) en el exterior y de cargas (+) en el interior de la membrana celular.
- b) El potencial de membrana en reposo de una neurona está determinado principalmente por el Ca^{2+} .
- c) La bomba Na^+/K^+ -ATP-asa saca 3 Na^+ y mete 2 K^+ en la célula en contra de gradiente.
- d) Una membrana que tiene un potencial se dice que está polarizada (tiene un polo + y otro -).
- e) Son ciertas C y D.

<p>57. En cuanto a los factores que contribuyen al potencial de la membrana en reposo es falso que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Influyen las diferencias de concentración de iones dentro y fuera de la célula. b) Depende de la distinta permeabilidad de la membrana a esos iones. c) El ión que más contribuye es el Na⁺. d) Participa la bomba Na⁺/K⁺-ATP-asa. e) En las neuronas es aproximadamente -70 mV. 	<p>58. En el potencial de acción de una neurona o de una célula muscular esquelética es cierto que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) El potencial de la membrana pasa de ser positivo a negativo. b) A mayor intensidad del estímulo mayor amplitud o magnitud del potencial de acción. c) Durante el periodo refractario relativo no se puede producir otro potencial de acción. d) El potencial vuelve al nivel de reposo gracias a la bomba Na⁺/K⁺-ATP-asa. e) El calor y la presencia de mielina disminuyen la velocidad de conducción nerviosa.
<p>59. Respecto a la contracción del músculo esquelético señale la cierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Es involuntaria. b) La Ach es metabolizada por la acetilcolinesterasa (AChE). c) En la célula presináptica el potencial de acción provoca la liberación de adrenalina. d) La unión Ach-receptor nicotínico abre los canales de K⁺ que despolarizan la célula muscular. e) La unión neuromuscular es una sinapsis eléctrica. 	<p>60. Hablando de la contracción del músculo esquelético, señale la falsa:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La unión Ca²⁺-troponina-tropomiosina descubre los sitios de unión para la miosina. b) Las cabezas de miosina deslizan a la actina hacia el centro del sarcómero al metabolizarse el ATP. c) A mayor número y tamaño de las unidades motoras menor es la fuerza de contracción. d) El Ca²⁺ ha de volver al retículo sarcoplásmico para la relajación muscular. e) La contracción del músculo esquelético dura mucho más (20-200 ms) que el potencial de acción.
<p>61. Cuando se disminuye la concentración de potasio en el exterior de la fibra nerviosa se produce:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Potencial de posthiperpolarización. b) Un mayor potencial de reposo (más negativo). c) Potencial de acción. d) Repolarización automática. e) Un menor potencial de reposo (más positivo). 	<p>62. La alta resistencia eléctrica de la membrana celular se debe a la presencia de:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Proteínas. b) Lípidos. c) Electrolitos. d) Bombas. e) Canales.
<p>63. El potencial transmembrana (Vm) se vuelve más positivo si:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Aumenta el potasio extracelular. b) Disminuye el potasio extracelular. c) Aumenta el sodio extracelular. d) Disminuye el sodio extracelular. e) Disminuye potasio y sodio simultáneamente en el exterior. 	<p>64. Si se estimula un axón con un estímulo supraumbral y no se obtiene respuesta, quiere decir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) El axón está en periodo de acomodación. b) Existe una adaptación del axón. c) La bomba de Na⁺ no funciona. d) Estamos en el periodo refractario absoluto. e) Estamos en el periodo refractario relativo.
<p>65. En relación a los receptores es falso que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Pueden localizarse en cualquier parte del organismo. b) Los mecanorreceptores solo se pueden localizar en la piel. c) La estimulación de los receptores térmicos a 0 grados puede provocar dolor. d) Los nociceptores se localizan también en las vísceras. e) Los potenciales generados dependen de la intensidad del estímulo. 	<p>66. Si yo mantengo un estímulo sobre un receptor y compruebo que el potencial generador no se modifica con el tiempo, sé que se está produciendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La inhibición de un receptor inhibitor. b) La adaptación del receptor. c) La sensibilización del receptor. d) La acomodación del receptor. e) Nada de lo anterior.

67. Si yo mantengo un estímulo sobre un receptor y compruebo que el potencial generador aumenta con el tiempo, sé que se está produciendo:

- a) Inhibición del receptor inhibitor.
- b) Adaptación del receptor.
- c) Sensibilización del receptor.
- d) Acomodación del receptor.
- e) Presencia de neurotransmisor excitador.

69. Indique cuál de los siguientes receptores somestésicos no se encuentra en la piel:

- a) Mecanorreceptores a la vibración.
- b) Termorreceptores.
- c) Nociceptores.
- d) Propioceptores.
- e) Mecanorreceptores a la presión.

68. Si yo mantengo un estímulo sobre un receptor y compruebo que el potencial generador disminuye con el tiempo, sé que el fenómeno que está produciendo es:

- a) La inhibición receptora.
- b) La adaptación del receptor.
- c) El potencial generador inhibitor.
- d) La acomodación del receptor.
- e) La presencia de neurotransmisores inhibitorios.

70. Los receptores propioceptivos no recogen información sobre:

- a) El grado de tensión en el tendón muscular.
- b) El sentido del movimiento.
- c) El nivel de tensión muscular.
- d) El grado de estiramiento de nuestros músculos.
- e) Todo lo anterior.

1	D	16	D	31	C	46	C	61	B
2	D	17	E	32	E	47	E	62	B
3	E	18	A	33	B	48	D	63	A
4	C	19	C	34	C	49	E	64	D
5	E	20	C	35	E	50	C	65	B
6	D	21	A	36	E	51	D	66	E
7	B	22	D	37	B	52	C	67	C
8	C	23	E	38	D	53	B	68	B
9	E	24	E	39	A	54	D	69	D
10	B	25	A	40	D	55	C	70	E
11	E	26	C	41	B	56	E		
12	E	27	E	42	D	57	C		
13	A	28	A	43	B	58	D		
14	E	29	A	44	D	59	B		
15	A	30	C	45	B	60	C		

GLOSARIO

- 2,3 difosfoglicerato (2,3-DPG, Tema 14):** Producto intermediario del metabolismo anaerobio de la glucosa que afecta a la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.
- Acetilcolina (Tema 4):** Neurotransmisor utilizado por las neuronas de los sistemas nervioso central y periférico.
- Acomodación (Tema 9):** Enfoque de la luz: mediante el cambio de la forma del cristalino del ojo.
- Actina (Tema 10):** Proteína globular (G-actina) que se polimeriza para dar lugar a los filamentos finos.
- Adaptación:** Capacidad para modificar el umbral de respuesta del receptor.
- Agua corporal total (ACT) (Tema 1):** Es la cantidad de agua total en el organismo y representa la suma del líquido extracelular y el intracelular.
- Asta dorsal (Tema 6):** Región dorsal de la sustancia gris de la médula espinal que contiene los cuerpos celulares neuronales.
- Asta ventral (Tema 6):** Región ventral de la sustancia gris de la médula espinal que contiene los cuerpos celulares neuronales.
- Axón (Tema 3):** Parte de la neurona especializada en la conducción de impulsos nerviosos, normalmente en dirección contraria a la del soma.
- Banda A (Tema 10):** Banda oscura en el sarcómero que contiene filamentos gruesos y finos.
- Banda I (Tema 10):** Banda más clara del sarcómero que contiene únicamente filamentos finos.
- Bandas densas (Tema 10):** Zona de anclaje de los filamentos de actina en el músculo liso.
- Barorreceptores (Tema 9):** Mecanorreceptores sensibles al cambio de presión.
- Bastones (Tema 9):** Fotorreceptores localizados en la retina periférica especializados en la visión monocromática en situaciones de baja luminosidad.
- Bomba Na⁺-K⁺-ATPasa (Tema 3):** transportador activo que mueve el sodio hacia fuera de la célula y el potasio hacia dentro contra sus gradientes respectivos de concentración.
- Campo receptivo (Tema 9):** Región de una superficie sensorial que cuando es estimulada provoca el cambio del potencial de membrana de una neurona.
- Canales dependientes de voltaje (Tema 3):** Canales iónicos activados por voltaje en las membranas celulares.
- Canales iónicos (Tema 3):** Proteínas de membrana que forman canales para permitir el paso de iones.
- Canales no activables (Tema 3):** Canales de Na⁺ y K⁺ que siempre están abiertos con independencia del voltaje, son responsables del potencial de membrana en reposo.
- Compartimento (Tema 1):** espacio delimitado entre membranas.
- Cono axonal (Tema 3):** Engrosamiento del axón dónde éste se une al soma neuronal.
- Conos (Tema 9):** Fotorreceptores de la retina responsables de la visión diurna y de colores en presencia de luz brillante.
- Dendritas (Tema 3):** Parte de la neurona especializada para recibir aferencias sinápticas de otras neuronas ó células no nerviosas.
- Dermatoma (Tema 9):** Región de la piel inervada por el par de nervios espinales procedentes de un segmento espinal.
- Desensibilización:** Disminución de la respuesta ante un determinado estímulo (*hormona, neurotransmisor*) por una larga exposición del mismo.

Diferencia de potencial de membrana (Tema 3): Diferencia de potencial establecida entre el líquido extra e intracelular en las membranas de las células.

Difusión simple (Tema 2): Movimiento de partículas desde una zona de mayor concentración a una de menor concentración.

División parasimpática (Tema 8): División del sistema nervioso autónomo (SNA). Sus axones periféricos emergen del tronco cerebral y de la médula espinal sacra.

División simpática (Tema 8): División del sistema nervioso autónomo (SNA). Sus axones periféricos emergen a partir de la médula espinal torácica y lumbar.

Endocitosis (Tema 2): Proceso por el cual la célula incorpora moléculas del exterior a su citoplasma a través de la formación de vesículas en la membrana celular.

Endolinfa (Tema 9): Líquido que rellena la rampa media codear y que contiene bajas concentraciones de sodio y altas de potasio.

Endomisio (Tema 10): Fina capa de tejido conjuntivo que recubre una fibra muscular.

Enzimas: Proteínas que catalizan determinadas reacciones.

Epimisio (Tema 10): Banda de tejido conjuntivo que rodea a todo un músculo.

Exocitosis (Tema 2): Proceso por el cual las vesículas intracelulares se fusionan con la membrana plasmática y liberan su contenido al líquido extracelular.

Fagocitosis (Tema 2): Proceso por el cual una célula engulle a una partícula en una vesícula utilizando el citoesqueleto para rodearla con la membrana celular.

Fisiología (Tema 1): Ciencia que tiene por objeto el estudio de las funciones de los seres orgánicos.

Fotorreceptor (Tema 9): Célula especializada de la retina que transduce la energía luminosa en cambios del potencial de membrana.

Fóvea (Tema 9): Depresión de la retina en el centro de la mácula. En la retina humana sólo contiene fotorreceptores de tipo cono.

GABA (Tema 4): inhibidor de la secreción de prolactina. Neurotransmisor.

Ganglio: Conjunto de neuronas en el sistema nervioso periférico (SNP).

Ganglios autónomos (Tema 8): Ganglios periféricos de las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo (SNA).

Gradiente electroquímico: Combinación de gradientes eléctricos y químicos (*concentración*) para un ion dado.

Hipertónica (Tema 1): Se dice de la solución que contiene una gran concentración de soluto (*solución muy concentrada*) en comparación con los niveles normales (300 mOsM).

Hipotónicas (Tema 1): Se dice de la solución que contiene una baja concentración de soluto (*solución muy diluida*) en comparación con los niveles normales (300 mOsM).

Homeostasis (Tema 1): Conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en las composiciones y las propiedades del medio interno de un organismo.

Homeostasis/Homeostasia (Tema 1): Función fisiológica destinada a mantener en un margen constante las variables del medio interno.

Humor acuoso (Tema 9): líquido existente entre la córnea y el cristalino del ojo.

Humor vítreo (Tema 9): Sustancia gelatinosa que llena el ojo entre el cristalino y la retina.

Huso muscular (Tema 10): Estructura especializada dentro de los músculos esqueléticos que detecta la longitud muscular.

Isométrica (Tema 10): Referida a la contracción, se dice de aquella que crea fuerza sin que medie movimiento de la carga.

Isotónica (Tema 10): Referida a una solución, se dice de aquella que resulta en un movimiento neto de agua igual a cero a través de la membrana celular. Referida a la contracción, se dice de aquella que crea fuerza y movimiento de la carga.

Líquido cefalorraquídeo (LCR) (Tema 5): Líquido producido por el plexo coroideo que fluye a través del sistema ventricular hasta el espacio subaracnoideo.

Interneurona: Cualquier neurona que no es una neurona sensorial o motora. El término también se utiliza para referirse a una neurona del SNC cuyo axón no abandona la estructura en la cual reside.

Máculas (equilibrio/visión) (Tema 9): Equilibrio: áreas especializadas en la detección de la posición de la cabeza y las aceleraciones lineales. Visión: mancha amarillenta en el centro de la retina dónde se enfocan los rayos de luz.

Mecanorreceptores (Tema 9): Receptores sensoriales que responden a formas de energía mecánica como el tacto o la presión.

Medio externo (Tema 1): Medio que rodea al organismo.

Medio interno (Tema 1): Medio extracelular que rodea a las células del organismo.

Meninges (Tema 5): Las tres membranas que recubren la superficie del SNC: la duramadre, la aracnoides y la piamadre.

Miofibrillas (Tema 10): Haz o manojito de fibrillas contráctiles responsables de la contracción muscular.

Miofilamentos delgados (Tema 10): Proteínas formadas por un conjunto de moléculas de actina, troponina y tropomiosina.

Miofilamentos gruesos (Tema 10): Proteínas formadas por un conjunto de moléculas de miosina.

Miosina (Tema 10): Proteína que forma los filamentos gruesos de las miofibrillas y que transforma la energía química del enlace de ATP en movimiento.

Motoneurona alfa: Neurona que inerva las fibras extrafusales del músculo esquelético.

Motoneurona gamma: Neurona que inerva las fibras musculares intrafusales.

Motoneurona: Neurona que realiza sinapsis con una célula muscular esquelética provocándole la contracción muscular.

Músculos agonistas (Tema 10): Músculo que actúa con otro en la misma articulación.

Músculos antagonistas (Tema 10): Músculo que actúa contra otro en la misma articulación.

Músculos intercostales (Tema 10): Músculos asociados con la caja torácica.

Nebulina (Tema 10): Proteína inelástica de gran tamaño que alinea los filamentos en el sarcómero.

Neurona postganglionar: Neuronas de las divisiones simpática y parasimpática del SNA; su cuerpo celular se sitúa en los ganglios autónomos y sus axones terminan en los órganos y tejidos periféricos.

Neurona preganglionar: Neuronas de las divisiones simpática y parasimpática del SNA; su cuerpo celular se sitúa en el SNC (médula espinal o tronco cerebral) y sus axones periféricamente para realizar sinapsis con las neuronas postganglionares de los ganglios autónomos.

Neurotransmisor (Tema 4): Compuesto químico liberado por las neuronas que actúa sobre receptores específicos localizados en otras células nerviosas.

Nodos de Ranvier (Tema 3): Espacio que queda entre dos vainas de mielina consecutivas, donde el axón está en contacto con el líquido extracelular.

Órgano tendinoso de Golgi (Cap. 12): Estructura especializada dentro de los tendones que detecta la tensión muscular.

Osmolaridad (Tema 1): número de moléculas disueltas en 1 Kg de disolvente. Se expresa en mOsm/kg de agua.

Osmorreceptores (Tema 9): Células sensoriales especializadas en detectar cambios de osmolaridad, estas células secretan ADH como respuesta a incrementos de la osmolaridad superiores a 280 mOsm.

Osmosis (Tema 1): movimiento de agua a través de una membrana semipermeable en respuesta a un gradiente de concentración de soluto.

Ósmosis (Tema 1): Movimiento de agua desde una zona de menor concentración de soluto (*más diluida*) hacia una zona de mayor concentración (*menos diluida*).

Papila (Tema 9): Pequeña protuberancia en la punta de la lengua que contienen los botones gustativos.

Perilinf (Tema 9): Líquido que rellena las rampas vestibular y timpánica, y que contiene bajas concentraciones de potasio y altas de sodio.

Perimio (Tema 10): Tejido conjuntivo que rodea un grupo de fibras musculares.

Período refractario absoluto (Tema 3): Período de tiempo que sigue a un potencial de acción durante el cual un segundo estímulo no es capaz de generar otro potencial de acción con independencia de su intensidad.

Período refractario relativo (Tema 3): Período de tiempo que sigue a un potencial de acción durante el cual un segundo estímulo de mayor amplitud que el que produjo el primer potencial de acción puede generar otro potencial de acción.

Potencial de membrana (Tema 3): Ver Diferencia de potencial de membrana.

Presión osmótica (Tema 1): Presión que debe oponerse a aquella que intenta provocar el movimiento de agua por ósmosis.

Proteínas G: Proteínas que estimulan o activan la actividad de la adenilato ciclasa.

Proteínas transportadoras: Proteínas de la membrana celular cuyo papel es el transporte de sustancias entre el medio intra y extracelular.

Puentes cruzados (Tema 10): Conexión formada cuando la cabeza móvil de la miosina se une a las moléculas de actina en la fibra muscular.

Quiasma óptico (Tema 9): Estructura en la cual convergen el nervio óptico izquierdo y el derecho, donde se decusan parcialmente.

Receptor muscarínico (Tema 4): Subtipo de receptor de la acetilcolina que está acoplado a proteína G.

Receptor nicotínico de la acetilcolina (Tema 4): Clase de canal iónico regulado por la ACh e identificado en diversas localizaciones, en especial en la unión neuromuscular.

Receptores fásicos (Tema 9): Receptores de adaptación rápida que dejan de responder cuando el estímulo se hace constante.

Receptores nociceptores (Tema 9): Receptores sensoriales asociados al dolor.

Receptores tónicos (Tema 9): Receptores de adaptación lenta que responden mientras el estímulo sea constante.

Reclutamiento (Tema 10): Adición de unidades motoras (o neuronas) para incrementar la fuerza de la contracción (*la capacidad de disparo*).

Retículo sarcoplásmico (Tema 10): Retículo endoplasmático modificado en las células musculares que se especializa en el almacenamiento de Ca^{2+} .

Retroalimentación negativa (Tema 1): Mecanismo homeostático de regulación cuya respuesta mantiene el estímulo en el punto o cerca del punto a partir del cual se genera la señal.

Retroalimentación positiva (Tema 10): Mecanismo homeostático de regulación cuya respuesta refuerza el estímulo que genera la señal.

Rodopsina (Tema 9): Fotopigmento de los bastones.

Sarcolema (Tema 10): Membrana celular de una célula muscular.

Sarcómero (Tema 10): Unidad contráctil de la miofibrilla.

Sarcoplasma (Tema 10): Citoplasma celular de una célula muscular.

Segundos mensajeros: Moléculas intracelulares que transmiten la señal desde un primer mensajero (por ejemplo, una hormona) para la activación de un proceso bioquímico intracelular.

Sinapsis (Tema 4): Región de contacto en la que una neurona transfiere información a otra célula.

Sistema nervioso autónomo (SNA): Parte del SNP que inerva los órganos internos, los vasos sanguíneos y las glándulas. Se llama también SNP visceral. Incluye la división simpática, parasimpática y entérica.

Sistema nervioso central (SNC): Formado por el encéfalo y la médula espinal.

Sistema nervioso periférico (SNP): El SNP incluye todos los ganglios y nervios espinales o raquídeos, los pares craneales y el SNA.

Sistema nervioso somático: Parte del SNP que inerva la piel, las articulaciones y los músculos esqueléticos.

Sumación (Tema 4): Adición de impulsos en las fibras musculares y en las células nerviosas.

Termorreceptores (Tema 9): Receptores sensoriales selectivos a cambios de temperatura.

Tetanicación (Tema 10): Contracción muscular sostenida.

Tetanicación completa (Tema 10): Máximo estado de contracción muscular sostenida en el tiempo.

Tónicamente contraídos (Tema 10): Se dice de los músculos cuando mantienen la tensión constante.

Tono muscular (Tema 10): Estado basal de la contracción muscular o tensión que resulta de la actividad tónica de los músculos.

Transducción (Tema 9): Transformación de la energía de un estímulo sensorial en una señal celular, como un potencial receptor.

Transporte activo (Tema 2): Movimiento a través de la membrana que requiere energía en forma de ATP.

Transporte pasivo (Tema 2): Movimiento a través de la membrana celular que no depende de una fuente de energía externa.

Troponina (Tema 10): Complejo de tres proteínas asociadas a la tropomiosina.

Umbral (Tema 3): Nivel de despolarización suficiente y necesaria para que se desencadene un potencial de acción.

Unidad motora: Grupo de células musculares esqueléticas y la neurona somática que las controla.

Uniones tipo gap (Tema 4): Puentes citoplasmáticos creados por proteínas de membranas entre las células adyacentes.

Varicosidades (Tema 4): Evaginaciones en los terminales axónicos que almacenan y liberan los neurotransmisores. Referido normalmente al sistema nervioso autónomo.

Vellosidades: Pliegues de la mucosa intestinal y proyecciones de la mucosa a modo de expansiones digitiformes.

Zona H (Tema 10): Zona central de la banda A.

BIBLIOGRAFÍA

Dee Unglaub Silverthorn. Fisiología humana: un enfoque integrado. 4º Ed. Editorial médica panamericana. 2009

Beatriz Gal Iglesias. Bases de la fisiología. 2º Ed. Editorial Tébar. 2007.

Gerard J. Tortora, Bryan Derrickson. Principios de anatomía y fisiología. 11º Ed. Editorial médica panamericana. 2011