



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**HISTOLOGÍA Y DESARROLLO DEL SISTEMA
NERVIOSO CENTRAL**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANO DENTISTA

P R E S E N T A:

ARTURO NOÉ GONZÁLEZ BÁRCENA

**DIRECTOR: MTRO. ISRAEL MORALES SÁNCHEZ
ASESORA: C.D. CAROLINA VEGA RAMÍREZ**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A DIOS

Por haberme dado vida, por cuidarme y amarme, por permitirme concluir mi carrera ya que sin EL, nada hubiera logrado, por la hermosa familia que me ha dado. Simplemente por todo gracias DIOS.

A MI PADRE

Por darme su amistad, sus palabras de aliento que me impulsan a seguir adelante, por enseñarme desde pequeño a dar lo mejor de mí, y sobre todo por enseñarme a ver la vida con valor a través de su interminable cariño y confianza que sólo él sabe dar.

A MI MADRE

Por haber hecho hasta lo imposible para que yo estuviera aquí en estos momentos, por dejarme estar cerca de ella para aprender a luchar y a salir adelante aún en las situaciones más difíciles, por saber escucharme, por todo su valioso tiempo, su espacio, por su gran ejemplo en todo el trayecto de su vida y sobre todo por su gran apoyo y amor.

A MARCO, EDGAR Y JAZMIN

Por su confianza y apoyo, y por demostrarme su cariño en los momentos en que más los necesito.

Ustedes son mi familia gracias por estar conmigo que me acompañan, y me aconsejan para nunca darme por vencido. Por ustedes que se merecen todo mi respeto y cariño.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	4-5
II. GENERALIDADES.....	6-11
1. <i>Composición del tejido nervioso.....</i>	<i>7-8</i>
2. <i>Neurona.....</i>	<i>9-10</i>
III. ANATOMÍA DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	12-33
1. <i>Encéfalo.....</i>	<i>13-15</i>
2. <i>Cerebro posterior o romboencéfalo.....</i>	<i>15-20</i>
3. <i>Cerebro medio o mesencéfalo.....</i>	<i>20-22</i>
4. <i>Cerebro anterior o prosencéfalo.....</i>	<i>23-26</i>
5. <i>Médula espinal.....</i>	<i>27-33</i>
IV. HISTOGÉNESIS Y DESARROLLO DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	34-70
1. <i>Histogénesis del sistema nervioso central.....</i>	<i>37-40</i>
2. <i>Proliferación dentro del tubo neural.....</i>	<i>41</i>
3. <i>Células del sistema nervioso.....</i>	<i>42-55</i>
4. <i>Linajes celulares en la histogénesis del SNC.....</i>	<i>55-58</i>
5. <i>Organización transversal fundamental del tubo neural en desarrollo.....</i>	<i>58-63</i>
6. <i>Cambios estructurales posteriores del sistema nervioso central.....</i>	<i>63-70</i>
V. DISCUSIÓN.....	71-73
VI. CONCLUSIONES.....	74-75
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	76-78

I. INTRODUCCIÓN

El Sistema Nervioso, es uno de los más completos de todos los sistemas que conforman el cuerpo humano asegura junto con el Sistema Endocrino, las funciones de control del organismo.

Capaz de recibir e integrar innumerables datos procedentes de los distintos órganos sensoriales para lograr una respuesta del cuerpo, el Sistema Nervioso se encarga por lo general de controlar las actividades rápidas. Además, el Sistema Nervioso es el responsable de las funciones intelectivas, como la memoria, las emociones entre otras.

Su constitución anatómica es muy compleja, y las células que lo componen, a diferencia de las del resto del organismo, carecen de capacidad regenerativa.

El Sistema Nervioso tiene tres funciones básicas: la sensitiva, la integradora y la motora. En primer lugar, siente determinados cambios, estímulos, tanto en el interior del organismo (el medio interno), por ejemplo la distensión gástrica o el aumento de acidez, como fuera de él (el medio externo), por ejemplo una gota de lluvia que cae en el cuerpo, una picadura; esta es la función sensitiva. En segundo lugar la información sensitiva se analiza, se almacenan algunos aspectos de ésta y toma decisiones con respecto a la conducta a seguir; esta es la función integradora. Por último, puede responder a los estímulos iniciando contracciones musculares o secreciones glandulares; es la función motora.

El Sistema Nervioso esta conformado en dos partes principales anatómicamente hablando estos son el Sistema Nervioso Central (SNC) y el Sistema Nervioso Periférico (SNP). El SNC está formado por el encéfalo y la médula espinal. En el se integra y relaciona la información sensitiva aferente, se generan los pensamientos y emociones y se forma y almacena la memoria. La mayoría de los impulsos nerviosos que estimulan la contracción muscular y las secreciones glandulares se originan en el SNC. El SNC está conectado con los receptores

sensitivos, los músculos y las glándulas de las zonas periféricas del organismo a través del SNP. Este último está formado por los nervios craneales, que nacen en el encéfalo y los nervios raquídeos, que nacen en la médula espinal. Una parte de estos nervios lleva impulsos nerviosos hasta el SNC, mientras que otras partes transportan los impulsos que salen del SNC.

El componente aferente del SNP consisten en células nerviosas llamadas neuronas sensitivas o aferentes (*ad* = hacia; *ferre* = llevar). Conducen los impulsos nerviosos desde los receptores sensitivos de varias partes del organismo hasta el SNC y acaban en el interior de éste. El componente eferente consisten en células nerviosas llamadas neuronas motoras o eferentes (*ex* = fuera de; *ferre* = llevar). Estas se originan en el interior del SNC y conducen los impulsos nerviosos desde éste a los músculos y las glándulas. Todas estas funciones son realizadas por un conjunto de órganos que en total no pesan más de dos kilos pero que contienen varios miles de millones de elementos básicos, las neuronas. Es importante conocer un elemento esencial del SNC que es la neurona ya que la neurona es el nombre que se da a la célula nerviosa y a todas sus prolongaciones. Son células excitables especializadas para la recepción de estímulos y la conducción del impulso nervioso. Su tamaño y forman varían considerablemente. Cada una posee un cuerpo celular desde cuya superficie se proyectan una o más prolongaciones denominadas neuritas. Las neuritas responsables de recibir información y conducirla hacia el cuerpo celular se denominan dendritas. La neurita larga única que conduce impulsos desde el cuerpo celular; se denomina axón. Las dendritas y axones a menudo se denominan fibras nerviosas. Las neuronas se hallan en el encéfalo, médula espinal y ganglios. Al contrario de las otras células del organismo, las neuronas normales en el individuo maduro no se dividen ni reproducen.

A mis asesores:

Por que a lo largo de este tiempo me guiaron en todos los aspectos para poder presentar mi trabajo final. Gracias Dr. Israel M. Dra. Santa P. Dra. Carolina V.

II. GENERALIDADES

El sistema nervioso tiene una amplia distribución en el cuerpo, en esencia el sistema recoge los estímulos del medio, los transforma en impulsos nerviosos y los envía a una gran zona, altamente organizada, de recepción y correlación, donde son interpretados y a su vez distribuidos a los órganos efectores para establecer las respuestas adecuadas. Estas funciones se realizan por células muy especializadas llamadas neuronas, que junto con sus células de sostén o neurogliales, y tejido extracelular asociado, forman esta red integrada de comunicaciones.¹

Anatómicamente el sistema nervioso se puede dividir en dos partes: el *sistema nervioso central* (SNC), formado por el encéfalo y la médula espinal, localizados en el cráneo y el conducto raquídeo (y así protegidos por huesos), y el *sistema nervioso periférico* (SNP), compuesto por nervios craneales, espinales y periféricos (fig. 1). El SNC recibe todos los estímulos que se originan fuera del cuerpo (exteroceptivos) y todos los impulsos nerviosos del cuerpo (interoceptivos), y actúa como centro de integración y comunicación. El SNP sirve para interconectar todos los demás tejidos y órganos con el SNC.

Funcionalmente el SNC se divide en somático y autónomo, cada uno con divisiones centrales y periférica.¹

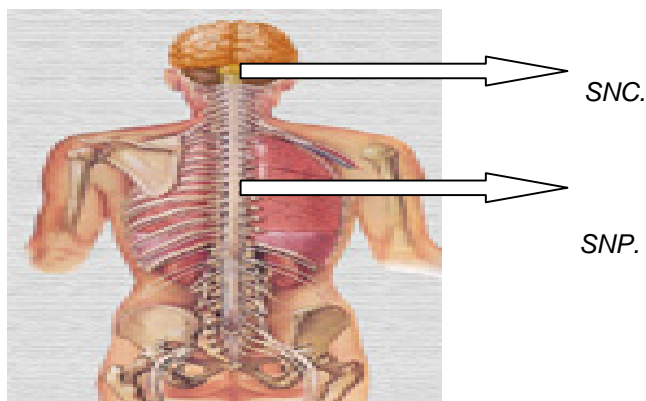


Fig. 1. División anatómica del sistema nervioso, organizado en SNC y SNP.²

La porción somática se relaciona con estructuras de los somitas embrionarios, esto es músculos, huesos y piel. El sistema nervioso autónomo (SNA), inerva al músculo liso y cardíaco y a las glándulas del cuerpo, en gran medida, sus funciones son independientes del resto del sistema nervioso.¹

1. Composición del tejido nervioso

El tejido nervioso consiste en dos tipos principales de células: *células nerviosas (neuronas)* y *células de sostén*.³

1.1. La neurona o célula nerviosa es la unidad funcional del sistema nervioso, (fig. 2). Las células nerviosas se encuentran:³

- ✚ **1.1.1. Especializadas:** Para recibir estímulos y conducir impulsos eléctricos a otras partes del sistema.³
- ✚ **1.1.2. Dispuestas:** Como una red de comunicaciones interconectada, con varias neuronas encadenadas que participan en la transmisión de impulsos de una parte del sistema a otra.³

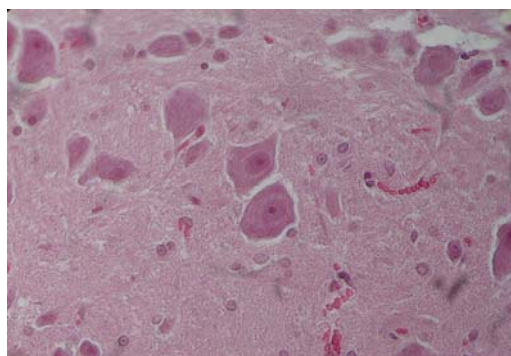


Fig.2. Fotomicrografía de células nerviosas de la médula espinal.⁴

Los contactos especializados entre neuronas que permiten la transmisión de la información de una neurona a la siguiente de la cadena se denomina *sinapsis*.³

1.2. Las células de sostén son células no conductoras que están en íntimo contacto físico con las neuronas. En el SNC se llama neuroglia o simplemente *glia*, en el SNP las células de Schwann rodean las prolongaciones de las células nerviosas en los ganglios.³

Las células de sostén proveen:

- ✚ **1.2.1. Sostén físico** (protección), a las delicadas prolongaciones neuronales.³
- ✚ **1.2.2. Aislamiento eléctrico** a los cuerpos de las células nerviosas y sus prolongaciones.³
- ✚ **1.2.3. Vías de intercambio** metabólico entre el sistema vascular y el sistema nervioso.³

Además de las células nerviosas y las células de sostén en el SNC y SNP, hay muchos vasos sanguíneos. Estos vasos están separados del tejido nervioso por la interposición de láminas basales y cantidades variables de tejido conectivo de acuerdo con el tamaño del vaso. En el SNC se reconoce que la zona limítrofe entre los vasos sanguíneos y el tejido nervioso es especial, dado que muchas sustancias que abandonan con facilidad los vasos sanguíneos para ingresar en otros tejidos, no penetran habitualmente en el tejido nervioso. Esta restricción selectiva de las sustancias transportadoras por la sangre en el SNC se designa *barrera hematoencefálica*, esta barrera reside en las complejas uniones estrechas entre las células endoteliales de los capilares encefálicos. ³

2. Neurona

La neurona o célula nerviosa es la unidad estructural y funcional del sistema nervioso. Hay más de 10 millones de neuronas en el sistema nervioso humano.³

Todas las neuronas tienen un cuerpo celular y prolongaciones, el axón y las dendritas.³

El cuerpo celular de una neurona contiene el núcleo y los organelos necesarios para mantener la célula nerviosa. Los procesos se extienden desde el cuerpo celular, la mayor parte de ellas sólo posee un axón, que suele ser la prolongación mas larga que se extiende desde la célula.³

2.1. Soma neuronal

El soma o pericarion es la región de la célula que suele ser grande y dilatada, que contiene un núcleo eucromático grande. Los somas neuronales contienen inclusiones, los cuerpos o granulaciones de Nissl.³

2.2. Dendritas y axones

Las dendritas son prolongaciones neuronales que reciben los estímulos de otras células nerviosas o del entorno. Por lo general las dendritas se localizan en las inmediaciones del soma neuronal, carecen de mielina suelen ser ahusadas y formar extensas arborizaciones denominadas árboles dendríticos.³

Los axones son prolongaciones neuronales que transmiten los estímulos a otras neuronas o a las células efectoras. Sólo hay un axón para cada neurona y puede ser muy largo. Los axones que se originan en neuronas de los núcleos motores del SNC (neuronas tipo I de Golgi) pueden viajar mas de un metro hasta alcanzar sus blancos efectores, por ejemplo el músculo esquelético.

En contraste las interneuronas del SNC (neuronas tipo II de Golgi) tienen un axón corto.³

2.3. Clasificación de neuronas

Si bien las células nerviosas muestran mayor variedad de tamaño y de forma que cualquier grupo celular del organismo, se clasifican en tres categorías.³

- ✚ **2.3.1. Neuronas sensitivas**, que transmiten impulsos desde los receptores hacia el SNC.³
- ✚ **2.3.2. Neuronas motoras**, que transmiten impulsos desde el SNC o los ganglios hacia las células efectoras.³
- ✚ **2.3.3. Interneuronas**, también denominadas neuronas internunciales, neuronas intercalares o neuronas centrales, que forman una red intercomunicante e integradora entre las neuronas sensitivas y motoras.³

También las neuronas se clasifican sobre la base de la cantidad de prolongaciones que se extiende desde el soma celular y existen las siguientes:³

- ✚ **2.3.4. Neuronas multipolares** tienen un axón y dos o más dendritas.³
- ✚ **2.3.5. Neuronas bipolares** tienen un axón y una dendrita.³
- ✚ **2.3.6. Neuronas multipolares o monopolares** tienen una prolongación, el axón se divide cerca del soma celular en dos prolongaciones largas.³
- ✚ **2.3.7. Neuronas pseudounipolares** con una sola proyección del cuerpo, que se ramifica en una rama periférica y una central.³

3. Sinapsis

La sinapsis son uniones especializadas entre neuronas, que facilitan la transmisión de los impulsos de una neurona a otra. También hay sinapsis entre los axones y las células efectoras, tales como células musculares y glandulares.³

Según las estructuras asociadas, las sinapsis entre neuronas se clasifican en:³

- ✚ **3.1. Axodendríticas**, se producen entre axones y dendritas.³
- ✚ **3.2. Axosomáticas**, se producen entre axones y el cuerpo celular.³
- ✚ **3.3. Axoaxónicas**, se producen entre axones.³
- ✚ **3.4. Dendrodendríticas**, se producen entre dendritas.³

III. ANATOMÍA DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El sistema nervioso central comprende el conjunto de los centros y vías nerviosas reunidas en el encéfalo y en la médula espinal.⁵

Está conectado a los diversos órganos por intermedio del sistema nervioso periférico formado por nervios craneales, raquídeos y espinales. Este sistema no debe ser opuesto al sistema nervioso autónomo puesto que éste dispone, en efecto, de numerosos centros en la parte central del sistema nervioso central.⁵

El estudio del sistema nervioso central comprende dos partes muy diferentes: la forma y la sistematización.⁵

1. **Forma.** No concierne solamente a las formas exteriores, las relaciones y la vascularización. En el sistema nervioso central cierto número de formaciones no aparecen inmediatamente a la vista, debiendo ser descubiertas mediante cortes o disecciones. Por último, la sustancia nerviosa misma, presenta cavidades no visibles desde el exterior. El estudio de la forma externa debe ser completado pues, por lo menos en ciertos segmentos, por un estudio de la configuración interna del segmento considerado.⁵

2. **Sistematización.** Se describe la organización anatómica y funcional en el sistema nervioso central es decir:⁵
 - 2.1. La **localización** y la **significación** de los núcleos o centros de sustancia gris.⁵

 - 2.2. El **trayecto** y el **destino** de las fibras nerviosas, que constituyen la sustancia blanca.⁵

El neuroeje comprende la médula espinal y el encéfalo. En el encéfalo, se distingue de abajo hacia arriba: la médula oblonga (bulbo raquídeo), puente (protuberancia anular), el cerebelo, los pedúnculos cerebrales y el cerebro.⁵

La médula espinal, con raíces espinales y el encéfalo están protegidos por un conjunto esquelético sólido, el canal vertebral (conducto raquídeo) y el cráneo, de los que están separados por sus envolturas: las meninges.⁵

1. Encéfalo

El encéfalo es la parte del sistema nervioso central que se halla contenido en la cavidad craneana.⁵

Un septo (tabique) fibroso horizontal, constituido por la tienda del cerebelo, permite distinguir dos porciones⁵ (fig.3).

- ✚ 1.1. Infratentorial: con la médula oblonga, el puente, el cerebelo y los pedúnculos cerebelosos.⁵
- ✚ 1.2. Supratentorial: con los pedúnculos cerebrales y el cerebro propiamente dicho.⁵

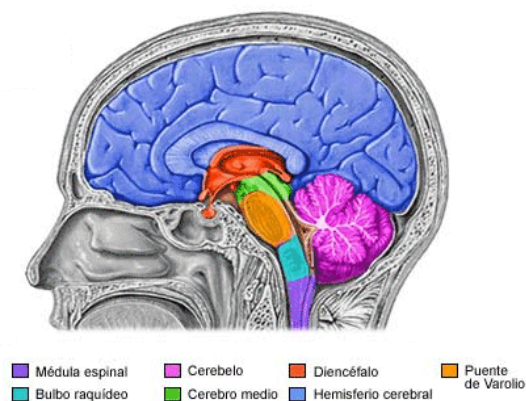


Fig. 3. Corte sagital del cráneo.⁶

La región que reúne las porciones infratentorial y supratentorial, recibe el nombre de istmo del encéfalo: corresponde a los pedúnculos cerebrales y a los pedúnculos cerebelosos superiores.⁵

Se denomina tronco encefálico al conjunto formado, de abajo hacia arriba por la médula oblonga, el puente y los pedúnculos cerebrales.⁵

Desde el punto de vista embriológico este conjunto se desarrolla a partir de las tres vesículas cerebrales primitivas que son: posterior, media y anterior, a partir de éstas el encéfalo se puede dividir en:⁵

- ✚ **1.3. Cerebro posterior o romboencéfalo:** originado de la vesícula posterior, corresponde a la médula oblonga, puente y cerebelo.⁵ (fig. 4).

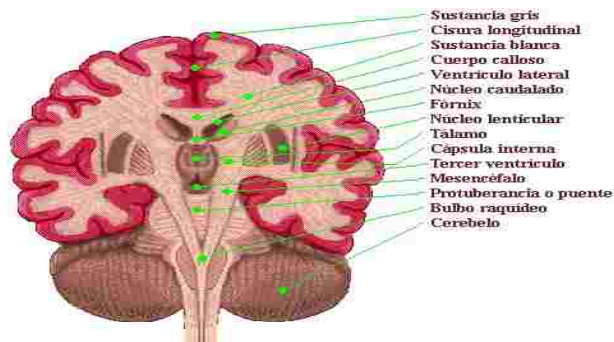


Fig. 4. Romboencéfalo.⁷

- ✚ **1.4. Cerebro medio o mesencéfalo:** de la vesícula media, comprende los colículos superior e inferior (tubérculos cuadrigémicos), y los pedúnculos cerebrales con el acueducto mesencefálico.⁵ (fig.5).

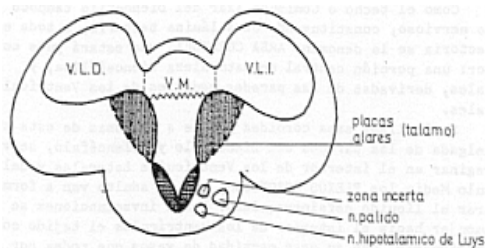


Fig. 5. Corte sagital del mesencéfalo.⁸

- 1.5. **Cerebro anterior o prosencéfalo:** de la vesícula anterior, está secundariamente dividida en diencefalo (cerebro intermedio, tálamo y región subtalámica) y telencéfalo (corteza cerebral, cuerpo estriado y sustancia blanca).⁵ (fig. 6).

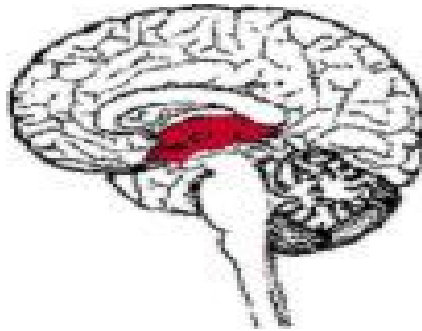


Fig.6. Vista lateral del prosencéfalo. Se observa el telencéfalo en rojo y diencefalo en blanco.⁹

2. Cerebro posterior o romboencéfalo

2.1. Médula oblonga

Tiene la forma de una pirámide ensanchada hacia arriba. Está orientada de abajo hacia arriba y de atrás hacia adelante. Se extiende desde el arco anterior del atlas a la parte de la línea media de la superficie basilar del occipital. Está entre el puente y la médula espinal, pasando por el foramen magno.⁵(fig. 7).

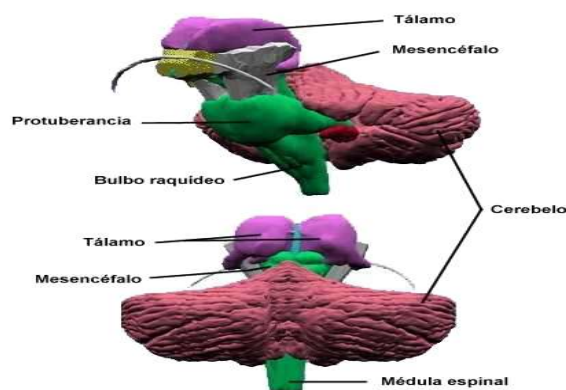


Fig. 7. Tronco encefálico.¹⁰

Su límite inferior es impreciso y corresponde a la unión de la médula oblonga con la médula espinal, su límite superior está constituido adelante y a los lados por el sulco bulbopontino. Sus caras anteriores y laterales son bien visibles, la cara posterior presenta una parte inferior libre y una parte superior oculta por el cerebelo que forma parte del IV ventrículo.⁵

- ✚ **2.1.1. Caras anteriores y laterales.** Un surco mediano longitudinal prolonga hacía arriba el de la médula espinal hasta el surco bulbopontino donde termina en una depresión: el foramen caecum (ciego). Este sulco está interrumpido en la parte inferior por la decusación de las pirámides, que forma el límite superior de la médula espinal.⁵

A ambos lados de la fisura media ventral, se encuentran las pirámides limitadas por fuera por el surco ventrolateral.⁵

- ✚ **2.1.2. Cara posterior.** En ella se observa al igual que en la médula, un surco mediano dorsal y dos fascículos dorsales, separados por un sulco intermedio. Mas arriba, estos dos cordones se separan: en cuerpos restiformes, para formar los pedúnculos cerebelosos inferiores, para formar los pedúnculos cerebelosos superiores, que se dirigen al cerebelo situado por detrás de la médula oblonga.⁵
- ✚ **2.1.3. Surco bulbopontino.** Es un sulco arciforme, profundo, coronado por la masa que constituye el puente y los pedúnculos cerebelosos medios. De él emergen, a uno y a otro lado y de adelante hacia atrás los nervios abducente (motor ocular externo VI), intermedio facial (facial VII), intermediario (VII bis) y vestibulococlear (estatoacústico VIII).⁵

2.2. Puente, protuberancia anular o puente de Varolio.

Es una gruesa formación nerviosa de aproximadamente tres centímetros de altura. Se corresponde adelante con la parte superior del clivo (canal basilar occipital). Está limitada arriba por el sulco pedúnculo pontino (pedúnculo protuberencial) y abajo por el sulco bulbo pontino (bulboprotuberencial).⁵

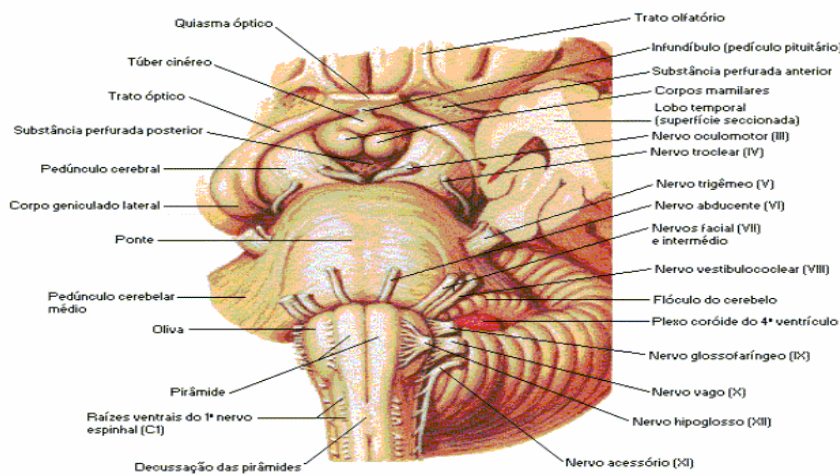


Fig. 8. Cara anteroinferior del tronco encefálico.¹¹

- ✚ 2.2.1. Cara anterior y caras laterales. En la línea media se observa un sulco longitudinal: el sulco basilar, por el que pasa el tronco basilar arterial (fig.8). A uno y a otro lado de este sulco, las salientes piramidales. La superficie del puente presenta estrías transversales entre las cuales emerge el voluminoso tronco del nervio trigémino. Más lateral (afuera) y atrás, los pedúnculos cerebelosos medios que se vuelven más estrechos y se hallan coronados por los pedúnculos cerebelosos superiores, que convergen hacia la parte superior del puente.⁵
- ✚ 2.2.2. Cara posterior. Está oculta por el cerebello del que se halla separada por el ventrículo quartus.⁵

2.3. Cerebelo.

Está situado por detrás del tronco encefálico (fig. 9). Al cual está unido por los pedúnculos cerebelosos. Es una masa nerviosa voluminosa en la que se reconocen una parte mediana o vermis, y dos partes laterales, los hemisferios cerebelosos (lobos laterales). El conjunto posee tres caras: superior, inferior y anterior. Estas tres caras están excavadas por numerosos sulcos transversales de los cuales los más profundos forman las fisuras que delimitan giros (circunvalaciones) y lobos cerebelosos.⁵

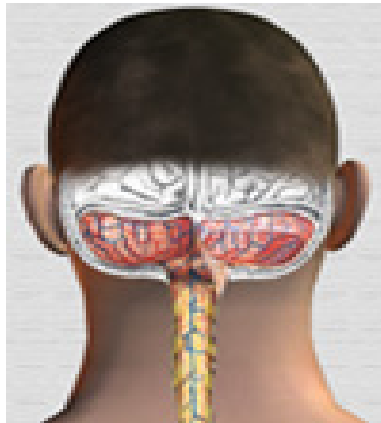


Fig.9. Localización del cerebelo.²

Caras del cerebelo:

2.3.1. Cara superior. Es convexa en sentido transversal y anteroposterior. Presenta en la línea media una saliente anteroposterior, el vermis superior, extendido por detrás de los colículos cuadrigéminos, hacia la fisura posterior, su parte más elevada se designa culmen, su parte más anterior língula.

A ambos lados del vermis, la cara superior de los hemisferios cerebelosos, inclinada hacia abajo, atrás y lateralmente presenta una serie de sulcos transversales y paralelos que cruzan de uno a otro hemisferio pasando por el vermis superior.⁵ (fig.10).



Fig. 10. Cara superior del cerebelo.²

2.3.2. Cara inferior. Es convexa en todos los sentidos. En su parte mediana presenta una profunda depresión, al separar sus bordes se observa en el fondo el vermis inferior, más voluminoso que el superior. Está separado de los hemisferios cerebelosos por dos sulcos. En la unión del tercio medio con el tercio posterior se vuelve más ancho y presenta una saliente de cuyos lados se desprenden dos prolongaciones que unen el vermis a los hemisferios cerebelosos: el conjunto constituye la pirámide del vermis (eminencia crucial o pirámide de Malacarne).⁵ (fig.11).



Fig. 11. Cara inferior del cerebelo.²

2.3.3. Cara anterior. A la inversa de las caras precedentes, esta cara no es una cara libre: los pedúnculos cerebelosos emergen por ella y conectan al cerebelo a tronco encefálico. Orientada hacia abajo y atrás, se distinguen en ella dos partes laterales y una medial. ⁵ (fig.12).

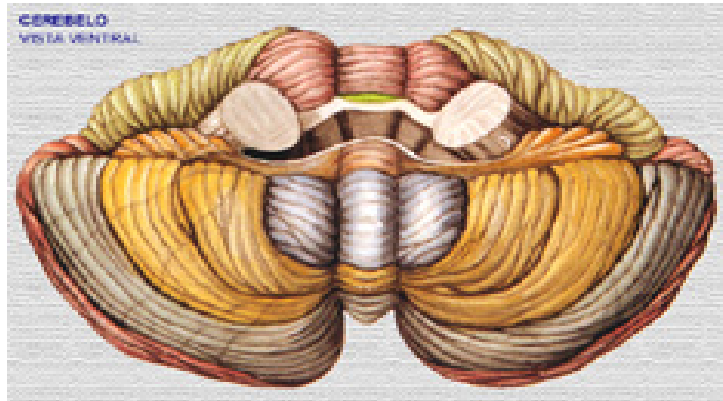


Fig.12. Cara anterior del cerebelo.²

3. Cerebro medio o mesencéfalo

El mesencéfalo se desarrolla a expensas de la vesícula cerebral media, cuya porción ventral se engruesa para constituir los pedúnculos cerebrales: éstos abarcan la lámina ventral media que constituirá el espacio perforado posterior.¹²

La placa dorsal sufre igualmente un engrosamiento y se divide en dos porciones separadas por un surco medio, las cuales más tarde se dividen a su vez por un surco transversal en cuatro eminencias denominadas tubérculos cuadrigémicos.¹²

El conducto del epéndimo permanece muy angosto en esta región y constituye el acueducto de Silvio.¹²

El mesencéfalo forma un tronco nervioso de dos centímetros de longitud que une al cerebro propiamente dicho con el cerebro posterior. En conjunto se puede distinguir una cara anterior, otra posterior y dos laterales.¹² (fig. 13).



*Fig. 13. Corte sagital del mesencéfalo.*¹³

3.1. Cara anterior o porción ventral

Está formada por dos gruesos cordones que parten a uno y otro lado de la línea media de la cara superior de la protuberancia. Se llaman pedúnculos cerebrales y se dirigen hacia arriba, adelante y afuera. Entre los dos pedúnculos cerebrales se encuentra una superficie profunda, de forma triangular con base superior, que se prolonga entre los dos tubérculos mamilares.¹²

3.2. Cara posterior

El mesencéfalo presenta en su cara posterior cuatro eminencias redondeadas, llamadas tubérculos cuadrigémicos, separadas mediante un surco sagital poco profundo y otro transversal que se cruza en ángulo recto con el primero. El surco transversal se divide en dos tubérculos cuadrigémicos anteriores y dos posteriores.¹²

✚ **3.2.1. Tubérculos cuadrigémicos anteriores**, son de forma ovoidea con su extremidad más gruesa posterointernamente. Su eje longitudinal se dirige hacia fuera y adelante.¹²

✚ **3.2.2. Tubérculos cuadrigémicos posteriores**, son casi hemisféricos y menos voluminosos que los anteriores.¹²

3.3. Caras laterales

En estas caras se aprecian los pedúnculos cerebelosos superiores, adheridos íntimamente en su borde externo a los pedúnculos pontocerebelosos y por arriba a los pedúnculos cerebrales. De éstos se hallan separados por un surco, denominados *surco lateral del istmo*, que se prolonga hacia arriba hasta el cuerpo geniculado interno y que es propiamente la continuación del surco interpeduncular.¹²

En la parte más superior de la cara externa de los pedúnculos cerebrales existe una formación triangular prominente, constituida por haces dirigidos hacia adentro y arriba que corresponde a la porción externa de la cinta de Reil o lemnisco lateral.¹²

Transmiten influjos auditivos y limitan exteriormente, en unión del surco lateral del istmo por abajo y del brazo conjuntival inferior por arriba, una superficie que corresponde en profundidad al núcleo gris denominado *núcleo del lemnisco lateral*.¹²

4. Cerebro anterior o prosencéfalo

Embriológicamente el prosencéfalo resulta del desarrollo que sufre la vesícula cerebral anterior, la cual por un estrangulamiento origina una porción anterior llamada vesícula cerebral anterior secundaria o terminal y otra posterior o vesícula intermedia. La vesícula cerebral intermedia forma el diencéfalo o cerebro intermedio, mientras la vesícula cerebral anterior, también llamada yema o divertículo anterior, da origen al telencéfalo o cerebro hemisférico. La pared lateral del diencéfalo se engruesa y origina al tálamo. Al final del segundo mes de la vida embrionaria aparecen en su parte posterior los cuerpos geniculados y en su parte superior, en el techo del tercer ventrículo, se forma un engrosamiento de la pared externa del diencéfalo que constituye el epitálamo, en éste se desarrolla la glándula pineal, su pedúnculo y la región habenular. En la parte inferior del engrosamiento talámico se origina el hipotálamo, que está separado del tálamo por un surco llamado *surco del hipotálamo* o *surco de Monro*.¹²

4.1. Diencéfalo

Estructura de gran importancia del cerebro anterior ya que de éste se derivan el tálamo, epitálamo y el hipotálamo¹²

4.1.1. Tálamo

Los tálamos son dos masas grises y voluminosas de forma ovoide con la extremidad anterior más estrecha. Por su tamaño y su forma pueden compararse a una nuez (fig. 14). Limitan a los lados el ventrículo medio o tercer ventrículo y su extremo anterior tiende a tocar al lado opuesto pues ambos se aproximan a la línea media donde quedan separados por un intervalo muy estrecho.¹²

Los extremos posteriores son más gruesos y están separados entre sí por un espacio más amplio en el cual se hallan los tubérculos cuadrigéminos.¹²

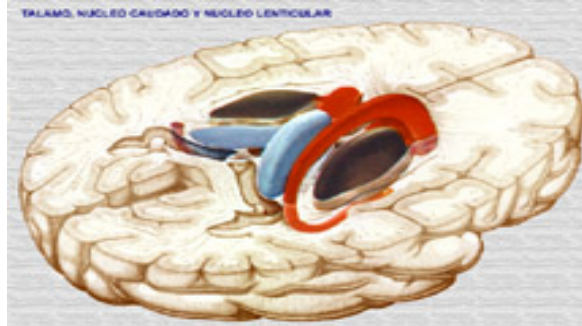


Fig. 14. Corte transversal del tálamo.²

4.1.2. Epitálamo

Comprende las formaciones diencefálicas situadas en la parte posterosuperior del tercer ventrículo de la glándula pineal y sus anexos que son la comisura blanca posterior, el pedúnculo o estría habenuar y el trígono de la habénula.¹²

- ✚ **4.1.2.1. Glándula o cuerpo pineal.** Es un cuerpo de forma cónica, cuya base, dirigida hacia adelante se halla vuelta hacia la cavidad ventricular y cuyo vértice libre se dirige hacia atrás, descansa en su totalidad en el surco que separa a los tubérculos cuadrigéminos anteriores.¹²
- ✚ **4.1.2.2. Comisura blanca posterior.** Del repliegue posteroinferior del receso pineal, parten dos conformaciones, que poco más allá de su origen, se confunden con un cordón blanco de dirección transversal denominado *comisura blanca posterior*.¹²
- ✚ **4.1.2.3. Pedúnculo de la habénula o estría habenuar.** Está constituido por fibras que en parte se dirigen al cuerpo pineal y en parte van al núcleo habenuar del lado opuesto, el entrecruzamiento de estas fibras forma la comisura habenuar.¹²

- ✚ **4.1.2.4. Trígono habenular.** Se denomina así al espacio comprendido entre el pedúnculo habenular por dentro, el borde interno del extremo posterior del tálamo por fuera y el pedúnculo externo de la pineal por atrás, que adopta una forma triangular con base posterior.¹²

4.1.3. Hipotálamo

La región de la base del cerebro que forma el piso del ventrículo medio y que está comprendida en la línea media, entre el quiasma óptico por delante y el borde superior de la protuberancia anular por detrás y a los lados por el rombo que forman adelante las cintas ópticas y atrás el borde interno de los pedúnculos cerebrales, se denominan hipotálamo. Está constituido por conglomerados de sustancia gris, que además de comunicarse entre sí se relaciona con las zonas distantes del encéfalo.¹² (fig. 15).

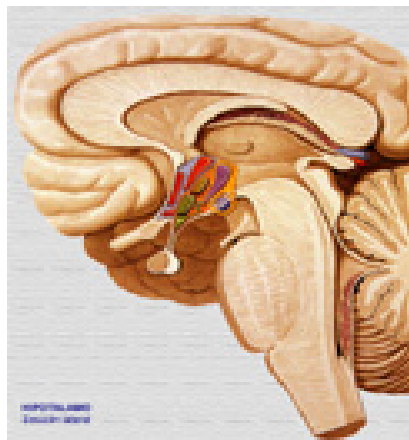


Fig. 15. Sección lateral del hipotálamo.²

En el hipotálamo se distinguen las siguientes partes: espacio perforado posterior, tubérculos mamilares, tuber cinereum e infundíbulo.¹²

- ✚ **4.1.3.1. Espacio perforado posterior.** Es una delgada lámina de sustancia gris, de forma triangular con base anterior correspondiente a los

tubérculos mamilares y vértice posterior correspondiente al ángulo divergente de los pedúnculos cerebrales.¹²

✚ **4.1.3.2. Tubérculos mamilares.** Consisten en dos eminencias redondeadas del tamaño de una lenteja, situadas por delante del espacio perforado posterior. Cada una de ellas está constituida por un conglomerado de células nerviosas rodeadas de una capa de sustancia blanca.¹²

✚ **4.1.3.3. Tuber cinereum e infundíbulo.** La masa gris comprendida entre los tubérculos mamilares por detrás y el quiasma óptico por delante está constituida por una lámina gris más o menos convexa que se denomina tuber cinereum.¹² (fig. 16).

✚ En su parte más saliente se prolonga hacia abajo por un espacio en forma de embudo que se continúa mediante un tubo de sustancia gris de forma cónica, al alcanzar éste la tienda de la hipófisis la perfora y penetra en la fosa pituitaria, conectándose íntimamente con ella. El espacio cónico se denomina infundíbulo y su porción terminal, más o menos compacta, constituye el tallo pituitario que se continúa con el lóbulo posterior de la hipófisis.¹²

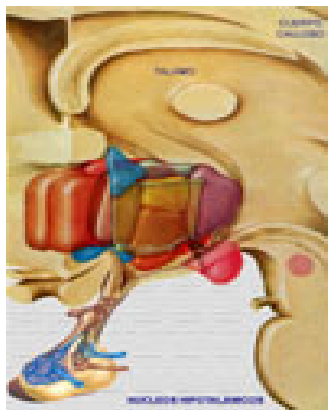


Fig. 16. Tuber cinereum.²

5. Médula espinal

La médula espinal tiene una forma aproximadamente cilíndrica. Comienza por arriba en el agujero occipital en el cráneo, donde se continúa con el bulbo raquídeo del encéfalo y termina inferiormente en el adulto a nivel del borde inferior de la primera vértebra lumbar. En el niño es más larga y termina en el borde superior de la tercera vértebra lumbar. Así, ocupa dos tercios superiores el conducto raquídeo de la columna vertebral y está rodeada por las tres meninges, la *duramadre*, la *aracnoides* y la *piamadre*. El líquido cefalorraquídeo que rodea la médula espinal en el espacio subaracnoideo le proporciona protección adicional.¹⁵ (fig. 17).

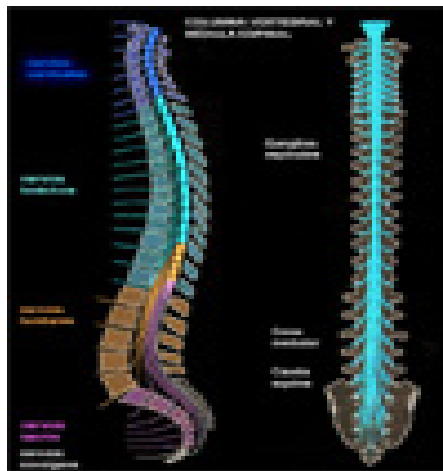


Fig. 17. Vista general de la médula espinal.²

En la región cervical, donde da origen al plexo braquial, y en la región torácica inferior y lumbar donde da origen el plexo lumbosacro, la médula espinal está agrandada en forma de huso; estos engrosamientos se denominan *ensanchamientos cervical y lumbar*. Inferiormente la médula espinal se ahúsa hacia el cono medular desde cuyo vértice desciende una prolongación de la *piamadre*, el filum terminal que se fija en la superficie posterior del cóccix.¹⁵

La médula posee, en la línea media por delante una cisura longitudinal profunda, la cisura mediana anterior y sobre la superficie posterior un surco poco profundo el surco mediano posterior.¹⁵

En toda la longitud de la médula espinal hay 31 pares de nervios espinales fijados por las raíces anteriores o motoras y las raíces posteriores o sensitivas.¹⁵

Cada raíz está fijada a la médula por una serie de raicillas que se extienden por toda la longitud del segmento correspondiente de la médula espinal. Cada raíz nerviosa posterior posee un ganglio de la raíz posterior cuyas células dan origen a las fibras nerviosas periféricas y centrales.¹⁵

5.1. Estructura de la médula espinal

La médula espinal está compuesta por un centro interior de sustancia gris, rodeada por una cobertura exterior de sustancia blanca.¹⁵ (fig. 18).

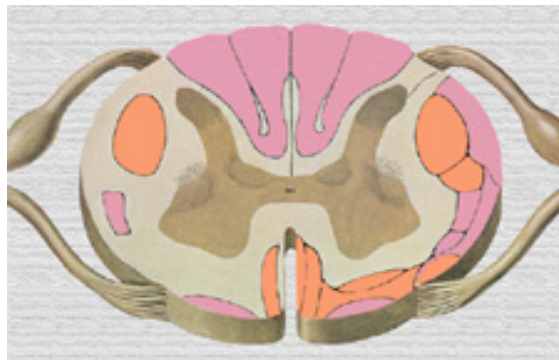


Fig. 18. Corte horizontal de la médula. Se observa sustancia gris y blanca.²

5.1.1. Sustancia gris

La sustancia gris en un corte transversal se observa como un pilar en forma de H con las astas grises anteriores y posteriores unidas por una delgada comisura gris que contiene el pequeño núcleo central.¹⁵

Hay una pequeña asta gris lateral en los segmentos torácicos y lumbares superiores de la médula espinal. La cantidad de sustancia gris presente en cualquier nivel dado de la médula espinal se relaciona con la cantidad de músculo inervado a ese nivel. Así su tamaño es máximo en los ensanchamientos cervical y lumbrosacro de la médula espinal, que inerva los músculos de las extremidades superiores e inferiores respectivamente.¹⁵

5.1.1.1. Estructura

Como en otras regiones del sistema nervioso central, la sustancia gris de la médula espinal consiste en una mezcla de células nerviosas y sus prolongaciones, neuroglia y vasos sanguíneos. Las células nerviosas son multipolares y la neuroglia forma una red intrincada alrededor de los cuerpos neuronales y sus neuritas.¹⁵

5.1.2. Sustancia blanca

La sustancia blanca se divide en los *cordones anterior, lateral y posterior*. El cordón anterior a cada lado se encuentra entre la línea media y el punto de salida de las raíces nerviosas anteriores; el cordón lateral se halla entre la salida de las raíces nerviosas anteriores y la entrada de las raíces nerviosas posteriores; el cordón posterior se ubica entre la entrada de las raíces nerviosas posteriores y la línea media.¹⁵

5.1.2.1. Estructura

Como en las otras regiones del sistema nervioso central, la sustancia blanca de la médula espinal consiste en una mezcla de fibras nerviosas, neuroglia y vasos sanguíneos. Rodea a la sustancia gris y su color blanco se debe a la proporción elevada de fibras nerviosas mielínicas.¹⁵

5.2. Tractos espinales

Los tractos espinales se dividen en tractos ascendentes, descendentes (fig. 19). E intersegmentarios.¹⁵



Fig.19. Principales estructuras de los tractos espinales.¹⁴

5.2.1. Tractos ascendentes de la médula espinal

Al ingresar en la médula espinal, las fibras nerviosas sensitivas de diferentes tamaños y funciones se ordenan y distribuyen en haces o tractos nerviosos en la sustancia blanca. Algunas de las fibras nerviosas sirven para vincular diferentes segmentos de la médula espinal mientras que otras ascienden desde la médula espinal hasta los centros superiores, y así conectan la médula espinal con el encéfalo. Los haces de las fibras ascendentes se denominan *tractos ascendentes*.¹⁵

Los tractos ascendentes conducen información aferente, que puede llegar o no a la conciencia. La información puede dividirse en dos grupos principales:¹⁵

✚ **5.2.1.1. Información exteroceptiva**, que se origina fuera del cuerpo, como el dolor, temperatura y tacto.¹⁵

✚ **5.2.1.2. Información propioceptiva**, que se origina dentro del cuerpo, por ejemplo en músculos y articulaciones.¹⁵

5.2.1.3. Organización anatómica

La información general proveniente de las terminaciones sensitivas periféricas es conducida a través del sistema nervioso por una serie de neuronas. En su forma más simple, la vía ascendente hasta la conciencia consiste en tres neuronas. La primera neurona o *neurona de primer orden*, tiene su cuerpo celular en un ganglio de la raíz posterior del nervio espinal. Una prolongación periférica se conecta con una terminación receptora sensitiva, mientras que una prolongación central entra en la médula espinal a través de la raíz posterior para hacer sinapsis con la neurona de segundo orden. *La neurona de segundo orden* da origen a una axón que se decusa y asciende hasta un nivel superior del sistema nervioso central, donde hace sinapsis con la neurona de tercer orden.¹⁵

La neurona de tercer orden suele encontrarse en el tálamo y da origen a una fibra de proyección que pasa a una región sensitiva de la corteza cerebral.¹⁵

Muchas de las neuronas en las vías ascendentes se ramifican y proporcionan una aferencia importante a la formación reticular, la cual a su vez activa la corteza cerebral, manteniendo la vigilia. Otras ramas pasan a neuronas motoras y participan en la actividad muscular.¹⁵

5.2.2. Tractos descendentes de la médula espinal

Las neuronas motoras ubicadas en las astas grises anteriores de la médula espinal envían axones para inervar el músculo esquelético a través de las raíces anteriores de los nervios espinales. Estas neuronas motoras a veces se denominan *neuronas motoras inferiores* y constituyen la vía final común hacia los músculos.¹⁵

Las neuronas motoras inferiores son bombardeadas constantemente por impulsos nerviosos que descienden desde el bulbo raquídeo, la protuberancia, el mesencéfalo y la corteza cerebral, así como aquellos que ingresan a lo largo de las fibras sensitivas desde las raíces posteriores. Las fibras nerviosas que descienden en la sustancia blanca desde diferentes puntos nerviosos supraespinales están separados en haces nerviosos denominados *tractos descendentes*. Estas neuronas supraespinales y sus tractos a veces se denominan *neuronas motoras superiores* y proporcionan numerosas vías separadas que pueden influir en la actividad motora.¹⁵

5.2.2.1. Organización anatómica

El control de la actividad musculoesquelética desde la corteza cerebral y otros centros superiores es conducido a través del sistema nervioso por una serie de neuronas. La vía descendente desde la corteza cerebral a menudo está formada por tres neuronas. La primera neurona, la *neurona de primer orden* tiene su cuerpo celular en la corteza cerebral, su axón desciende para hacer sinapsis en la *neurona de segundo orden*, una neurona internuncial ubicada en el asta gris anterior de la médula espinal. El axón de la neurona de segundo orden es corto y hace sinapsis con la *neurona de tercer orden*, la neurona motora inferior en el asta gris anterior. El axón esquelético a través de la raíz anterior y el nervio espinal.¹⁵

5.2.3. Tractos intersegmentarios de la médula espinal

La función de estas vías es interconectar neuronas de diferentes niveles segmentarios y son particularmente importantes en los reflejos espinales intersegmentarios. Tiene tractos ascendentes y descendentes cortos que se originan y terminan dentro de la médula espinal en los cordones blancos anteriores, laterales y posteriores.¹⁵ (fig.20).

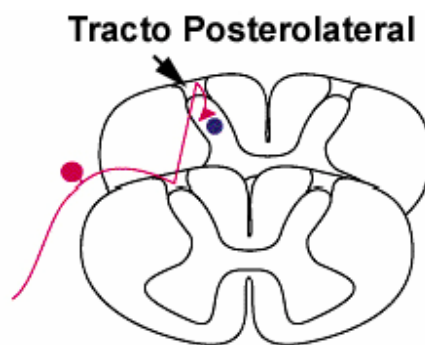


Fig. 20. Tracto intersegmentario. La línea roja indica axones que vienen desde el ganglio de la raíz posterior y llegan a la médula¹⁶

IV. HISTOGÉNESIS DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

Conforme se desarrolla el notocordio durante la parte temprana de la vida embrionaria, induce al ectodermo para que forme el neuroepitelio, que experimenta engrosamiento y forma la placa neural. Conforme siguen engrosándose los bordes de esta placa, ésta se incurva y forma un surco neural cuyos bordes siguen creciendo uno hacia el otro hasta que acaban por unirse y formar el tubo neural. El extremo rostral (anterior) de su estructura se convierte en el contenido encefálico; la porción restante (caudal) del tubo neural se convierte en médula espinal. Por añadidura, el tubo neural origina neuroglia, epéndimo, neuronas y plexo coroideo.¹⁷ (fig.21).

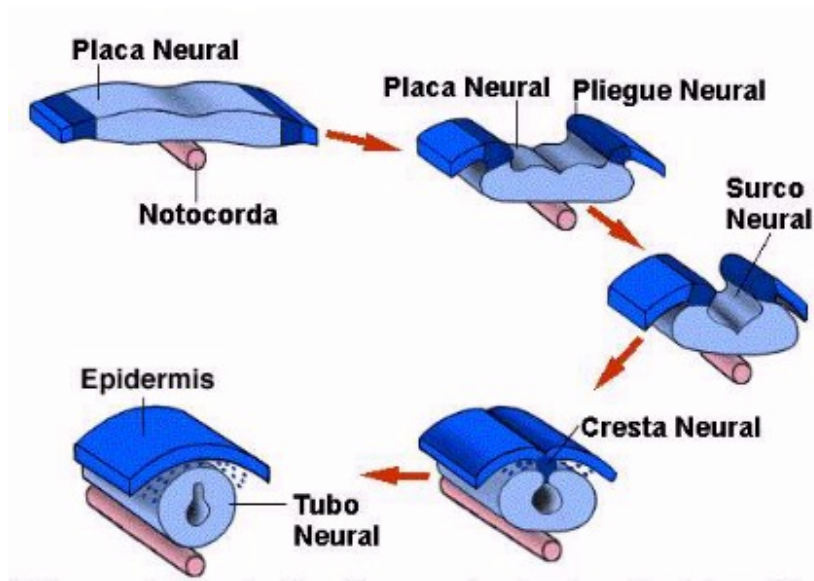


Fig. 21. Proceso de neurulación. Donde se observa la migración de las células de la cresta neural al mismo tiempo que se fusionan los pliegues neurales.¹⁶

Hay un pequeño montículo de células en los bordes laterales de la placa neural, que no se incorpora en el complejo de la placa neural, y que forma las células de la cresta neural. Las células de este grupo empiezan a emigrar desde la placa neural que está formándose muy al principio del desarrollo embrionario.¹⁷

Estas células acaban por formar muchos elementos anatómicos, entre ellos los siguientes:¹⁷

La mayor parte de los componentes sensitivos del sistema nervioso periférico.¹⁷

Neuronas sensitivas de los ganglios sensitivos craneales y raquídeos (ganglios de la raíz dorsal).¹⁷

Ganglios autónomos y neuronas autónomas posganglionares que se originan en ellos.¹⁷

Gran parte del mesénquima de la parte anterior de cabeza y cuello.¹⁷

Melanocitos de la piel y de la mucosa bucal.¹⁷

Odontoblastos (células encargadas de la producción de dentina).¹⁷

Células cromafines de la médula suprarrenal.¹⁷

Células de aracnoides y piamadre.¹⁷

Células satélites de los ganglios periféricos.¹⁷

Células de Schwann.¹⁷

En la formación del sistema nervioso participan muchos procesos fundamentales del desarrollo. Algunos de ellos predominan en determinados estadios de la embriogénesis, mientras que otros sólo suceden durante períodos limitados y en lugares definidos.¹⁸

Los principales procesos son los siguientes:

Inducción: incluidas tanto la inducción primaria del sistema nervioso por la notocorda subyacente como las inducciones secundarias controladas por los propios tejidos nerviosos.¹⁸

Proliferación: primero como respuestas de las células neuroectodérmicas a la inducción primaria y luego con el fin de generar un número crítico de células casi para todos los aspectos de la morfogénesis en el sistema nervioso.¹⁸

Formación de patrones: con respuestas de las células a determinadas señales genéticas o ambientales para formar las subdivisiones fundamentales del sistema nervioso.¹⁸

Determinación, de la identidad de algunos tipos específicos de células gliales y neuronales.¹⁸

Comunicación intercelular y adhesión de células similares.¹⁸

Migración celular, de la que se distinguen diversos patrones en el sistema nervioso.¹⁸

Diferenciación celular, tanto de las neuronas como de las células gliales.¹⁸

Formación, de conexiones específicas o **sinapsis** entre las células.¹⁸

Estabilización o eliminación, de ciertas conexiones interneuronales, que a veces se asocia a episodios de muerte celular masiva en las neuronas no conectadas.¹⁸

Desarrollo, progresivo de patrones integrados de funcionamiento neuronal, que acaban produciendo movimientos reflejos coordinados.¹⁸

1. Histogénesis del sistema nervioso central

El tubo neural primario está compuesto por una única capa de células neuroepiteliales cilíndricas, de las cuales por división y diferenciación celular se generan las neuronas y las células de la macroglia del sistema nervioso central.¹⁹

Hacia la luz del tubo neural (fig. 22). La capa de células neuroepiteliales está limitada por una membrana basal denominada *membrana limitante interna* y hacia el exterior se encuentra una membrana equivalente, la *membrana limitante externa*. Las células neuroepiteliales sufren activa proliferación y la capa se convierte en pseudoestratificada, si bien está compuesta por sólo un tipo de célula progenitora, que se extiende con forma de huso a través de toda la capa, con el núcleo ubicado en una posición central. Durante la mitosis la célula adopta una forma más redondeada y migra hacia la parte basal de la célula.

Después de la división, a comienzos del período de proliferación ambas células adoptan la forma ahusada original. Pero más tarde algunas de las células recién formadas se mantienen más redondeadas y migran hacia el exterior para establecer una nueva capa, la *zona intermedia*, mientras que la capa interna original, donde continúan las divisiones, ahora se denomina *zona ventricular*.¹⁹

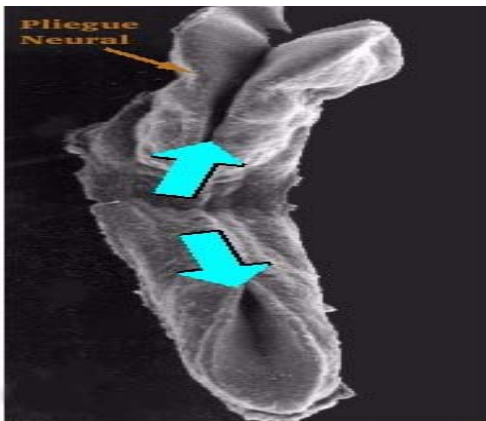


Fig. 22. Microfotografía electrónica de un embrión humano de 28 días donde se muestra como la fusión de pliegues neurales comienza en la futura región cervical superior y prosigue rostral y caudalmente para formar el tubo neural.¹⁶

Las células que migran hacia la parte externa por lo general son posmitóticas, es decir ya no sufren divisiones (fig. 23). En cambio continúan la diferenciación las primeras células de la glia y neuronas durante la migración. Después, algunas de las células recién formadas en la zona ventricular originan una nueva zona justo por fuera de la anterior (o por debajo, visto desde la cara del ventrículo), la *zona subventricular*, que separa la zona ventricular de la intermedia. Las células de la zona subventricular continúan el proceso de división y dan origen a las neuronas y las células de la glia, que migran hacia la zona intermedia. Antes de la creación de la zona subventricular aparece una zona periférica a la intermedia, la *zona marginal*, compuesta por axones en crecimiento provienen de la zona intermedia y células de la glia. Más tarde, la zona marginal se transforma en sustancia blanca, a medida que los axones en crecimiento se mielinizan, mientras que la zona intermedia pasa a ser la sustancia gris. La proliferación de las células de la zona ventricular no persiste en el individuo adulto y conduce a un período de predominio de la formación de células gliales, astrositos y oligodendrocitos (la microglia deriva de monocitos migrantes de origen mesenquimático) y después se diferencian las últimas células en el epéndimo.¹⁹

La zona subventricular o sus derivados persisten como superficies aisladas en el cerebro anterior, donde aún en el encéfalo adulto se continúa formando una cantidad limitada de neuronas y células gliales.¹⁹

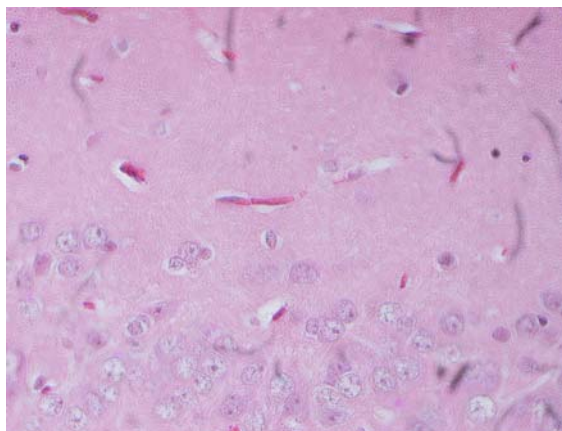


Fig. 23. Fotomicrografía de células del cerebro y cerebelo.⁴

En la porción del tubo neural que da origen a la médula espinal se producen pequeños desplazamientos en la división de las capas durante la migración de las células, dado que la estructura en principio responde a la de la médula espinal ya desarrollada (fig.24). En las porciones que permanecen en el encéfalo primario las relaciones son más complicadas y las migraciones celulares, más amplias. Por lo general, migran los precursores de las neuronas, a menudo denominados *neuroblastos* (células inmaduras o jóvenes sin capacidad para dividirse) posmitóticos, puesto que con sólo escasas excepciones sólo se dividen durante la migración y no después de alcanzar la posición final. Por el contrario los *glioblastos* continúan el proceso de división después de la migración hacia el interior de las zonas intermedia y marginal.¹⁹

La mayoría de los neuroblastos evolucionan antes del nacimiento, pero se conocen ejemplos de neurogénesis postnatal, por ejemplo las células granulares del hipocampo, la corteza cerebelar y en bulbo olfatorio, además de las células olfatorias del epitelio olfatorio nasal.¹⁹

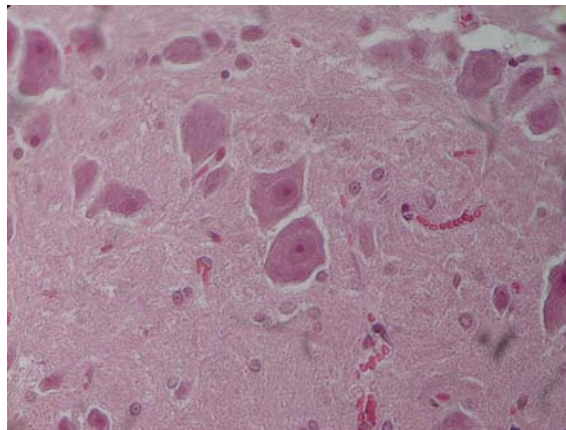


Fig. 24. Fotomicrografía de células de la Médula Espinal.⁴

Las células gliales continúan su desarrollo después del nacimiento. Durante el desarrollo de las distintas partes del sistema nervioso central hay un transcurso temporal característico de los procesos dentro de determinada región, que varía de una región a otra y de una especie a otra.¹⁹

Por lo general evolucionan las neuronas grandes antes que las pequeñas y las neuronas motoras antes que las sensitivas. Las interneuronas son las últimas células nerviosas en evolucionar, por último se diferencian las células de la glia.¹⁹

La mielinización de las fibras nerviosas comienza alrededor del cuarto o quinto mes de vida fetal y recién termina alrededor de los 25 años de edad.¹⁹

La formación del número final de sinapsis, su conformación y la intensidad de cada sinapsis, que influye sobre el grado de función posterior de determinado sistema, dependen en gran parte de la actividad del sistema en cuestión y si ésta tiene lugar dentro de períodos específicos. En la corteza cerebral, alrededor del 30% de las sinapsis dependen de una actividad en el momento y la forma exactos. En apariencia esto se debe a que la estructura y la cantidad e intensidad de la sinapsis, en especial durante la evolución pero también después, son reguladas por la cantidad de factores de crecimiento nervioso, ya que la síntesis de estos últimos es dirigida por la actividad sináptica entre otros factores. Dado que el crecimiento postnatal es amplio en los primeros años de vida, tiene especial importancia este periodo las acciones del medio en sentido extensivo, por ejemplo; estimulación oral y motora, ya que existe una mayor dispersión del árbol dendrítico en la corteza cerebral.¹⁹

Aunque la plasticidad es mayor en los primeros años de vida, se mantiene en la edad adulta, si bien en menor grado por lo que el sistema nervioso central aún tiene la capacidad para adaptarse a condiciones del medio modificadas. La plasticidad también es indispensable para el aprendizaje.¹⁹

2. Proliferación dentro del tubo neural

Poco después de la inducción, la placa neural engrosada y el tubo neural primitivo adoptan la organización de un epitelio pseudoestratificado. Este tipo de epitelio parece que los núcleos se disponen en varias capas separadas dentro de las células neuroepiteliales alargadas. Estos núcleos pueden cambiar mucho en su posición dentro del citoplasma de dichas células.¹⁸

Las células neuroepiteliales se caracterizan por una elevada actividad mitótica, y existe una estrecha correlación entre la posición de sus núcleos en el tubo neural y su estadio dentro del ciclo mitótico. La síntesis de ADN se produce en los núcleos situados cerca de la membrana limitante externa (la lámina basal que rodea al tubo neural). Cuando estos núcleos se preparan para iniciar la mitosis, migran dentro del citoplasma hacia la luz del tubo neural, donde experimentan dicho proceso. La orientación del huso mitótico durante esta división condiciona el destino de las células hijas. Si la placa de la metafase (plano de división) es perpendicular a la superficie apical (interna) del tubo neural, las dos células hijas migrarán lentamente en dirección hacia la porción externa del mismo, donde se prepararán para otra ronda de síntesis de ADN.¹⁸

Por el contrario, si el plano de división va paralelo a la superficie interna del tubo neural, el destino de las células hijas será radicalmente distinto. La más próxima a la superficie interna se moverá desde ella muy despacio y seguirá siendo una célula progenitora proliferativa susceptible de sufrir mitosis. Por el contrario, la célula hija más próxima a la superficie basal (membrana limitante externa) heredará una elevada concentración de receptor Notch en su superficie, y se alejará con rapidez del borde apical en forma neuroblasto posmitótico. Los neuroblastos, que son las células precursoras de las neuronas, empiezan a producir prolongaciones que se acaban convirtiendo en los axones y dendritas.¹⁸

3. Células del sistema nervioso

Las células del sistema nervioso pueden clasificarse en dos categorías:

- ✚ **3.1. Neuronas:** que son encargadas de las funciones receptoras, integradoras y motoras del sistema nervioso.¹⁷

- ✚ **3.2. Células de la neuroglia:** que son las encargadas de brindar sostén y protección a las neuronas.¹⁷

3.1. Neuronas

Las células encargadas de la recepción en la transmisión de los impulsos nerviosos hacia el SNC y desde éste son las neuronas. Estas células cuyos diámetros varían entre 5 y 150 μm , se encuentran entre las células más pequeñas y las más grandes del cuerpo. La mayor parte de las neuronas están compuestas por tres partes definidas: un cuerpo celular, múltiples dendritas y un sólo axón o cilindroeje.¹⁷

3.1.1. Estructura y función de las neuronas

El cuerpo celular de la neurona, conocido también como pericarion o soma, es la porción central de la célula en la cual se encuentra el núcleo y el citoplasma perinuclear (fig.26). En general, las neuronas del SNC son poligonales con superficies cóncavas entre las muchas ramificaciones celulares, en tanto que las neuronas del ganglio de la raíz dorsal (ganglio sensitivo del SNP), tienen cuerpo celular redondeado desde el cual sale una sola ramificación. Los cuerpos celulares tienen tamaños y formas distintos característicos de su tipo y su localización.¹⁷

Se proyectan desde el cuerpo celular las dendritas, que son ramificaciones especializadas para recibir estímulos provenientes de células sensitivas, axones y otras neuronas. A menudo las dendritas están multiramificadas, y las terminaciones se arborizan de modo que pueden recibir múltiples estímulos desde otras muchas neuronas de manera simultánea. Los impulsos nerviosos recibidos por las dendritas se transmiten a continuación hacia el soma.¹⁷

Desde el lado opuesto del cuerpo celular en el que se encuentran las dendritas sale el axón o cilindroeje, que es una sola proyección de diámetro variable y de hasta 100cm. de longitud. El axón conduce al impulso desde el soma hacia otras neuronas, músculos o glándulas. Como sucede con las dendritas, las terminaciones del axón están arborizadas. Estas terminaciones axónicas conocidas como *terminaciones axonianas*, *bulbos terminales*, *conos terminales* o *botones terminales*, se ubican cerca de otra célula y forman una sinapsis, región en la que el impulso se puede transmitir hacia la célula receptora.¹⁷

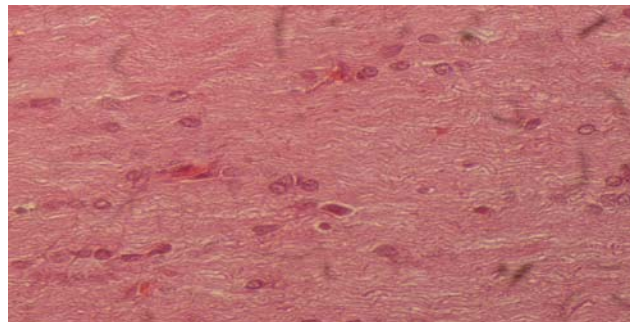


Fig. 26. Fotomicrografía donde se observan células del cerebro.⁴

3.1.2. Cuerpo celular neuronal

El cuerpo celular neuronal (soma, pericarion), es la región de la neurona que contiene al núcleo de tinción pálida de gran tamaño y al citoplasma perinuclear.¹⁷

El resto del citoplasma en la neurona se encuentra en las proyecciones que se originan en el cuerpo celular.¹⁷

El núcleo es grande, por lo general esférico u ovoide y de localización central (fig. 27). Contiene cromatina finamente dispersada, lo que indica una actividad sintética rica.¹⁷

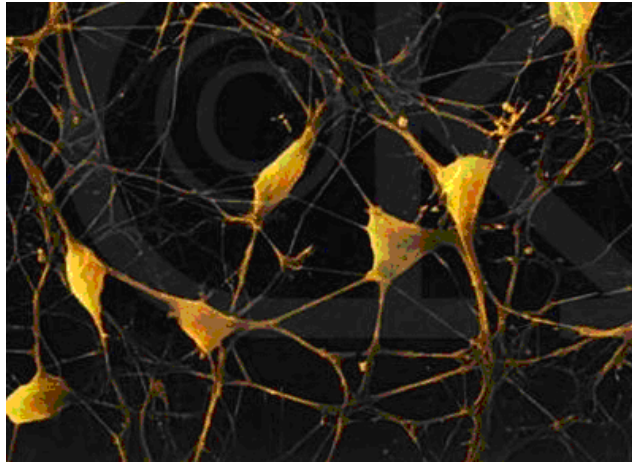


Fig.27. Cuerpo celular neuronal.²

El *citoplasma* del cuerpo celular tiene retículo endoplásmico rugoso abundante (REr) con muchas cisternas en distribuciones paralelas, características especialmente prominente en las grandes neuronas motoras. Los polirribosomas están también diseminados por todo el citoplasma. Cuando las cisternas y los polirribosomas se tiñen con colorantes básicos, se manifiestan como acúmulos de material basófilo que se ha denominado de manera general *cuerpos de Nissl*.¹⁷

La mayor parte de las neuronas tienen retículo endoplásmico liso (REl) por todo el cuerpo celular, éste se extiende hasta las dendritas y el axón y forma las *cisternas hipolémicas* que están directamente por debajo del plasmalema. Las cisternas hipolémicas secuestran calcio y contienen proteínas. Estas cisternas pueden funcionar como conductos para la distribución de proteínas por toda la célula.¹⁷

El *complejo de Golgi* yuxtannuclear prominente, compuesto por varias cisternas estrechamente relacionadas entre sí que manifiestan periferia dilatada, lo que es característico de las células secretoras de proteína. Se cree que el complejo de Golgi es el encargado de la producción de sustancias neurotransmisoras o de las enzimas esenciales para la transmisión del axón.¹⁷

Se encuentran numerosas *mitocondrias* diseminadas por todo el citoplasma del soma, las dendritas y el axón. En general las mitocondrias de las neuronas son más delgadas que las de otras células.¹⁷

3.1.3. Dendritas

Las dendritas son terminaciones sensitivas (aférentes) de la neurona (fig.28). La mayor parte de las neuronas poseen dendritas múltiples, cada una de las cuales se origina en el cuerpo celular, por lo general como tronco corto único que se ramifica varias veces en ramas cada vez más pequeñas que van disminuyendo de tamaño hasta las terminaciones. El patrón ramificado de las dendritas es característico de cada clase de neurona. La base de la dendrita se origina en el cuerpo celular y contiene el complemento ordinario de organitos, salvo los complejos de golgi, sin embargo en las dendritas abundan las mitocondrias. La ramificación de las dendritas que da por resultado numerosas terminaciones sinápticas, permite a una neurona recibir e integrar múltiples impulsos de modo que el potencial eléctrico de la membrana celular acaba por exceder el umbral.¹⁷

Las “*espinas*” localizadas sobre la superficie de algunas dendritas pueden relacionarse con selectividad y control sensitivo.¹⁷

Estas espinas disminuyen en número con el paso de la edad y la mala nutrición y pueden manifestar cambios estructurales en personas con trisomía 13 y trisomía 21. En ocasiones las dendritas transmiten impulsos a otras dendritas.¹⁷

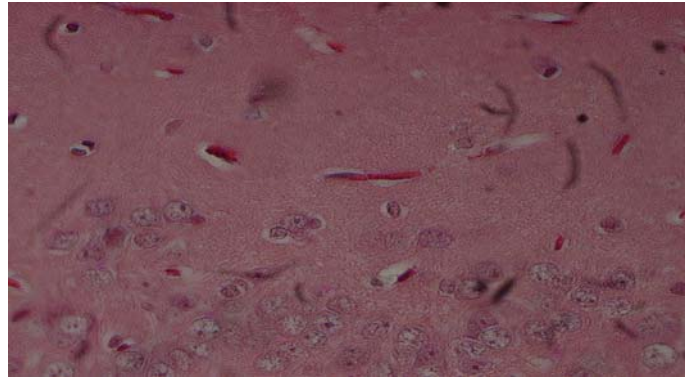


Fig.28. Fotomicrografía que muestra neuronas del cerebro.⁴

3.1.4. Axones

El axón o cilindroeje se origina en el cuerpo celular a nivel del cono de implantación axónica como una sola proyección delgada que se extiende a distancias más largas desde el cuerpo celular que las dendritas (fig.29). El grosor del axón se relaciona directamente con su velocidad de conducción, de modo que la velocidad aumenta conforme aumente el diámetro axónico. Aunque el grosor del axón varía, es constante para un tipo particular de neurona. La porción del axón desde su origen hasta el principio de la vaina de mielina se denomina *segmento inicial*.¹⁷



Fig.29. Axón celular.²⁰

El plasmalema de ciertas células de la neuroglia forma una vaina de mielina alrededor de algunos axones tanto en el SNC como en el SNP, que hace designarlos como axones *mielinados* o *mielínicos* y axones que carecen de vainas de mielina que se denominan axones *amielínicos*.¹⁷

Los impulsos nerviosos se conducen con mucha mayor rapidez a lo largo de los axones mielínicos que a lo largo de los amielínicos. Además de la conducción de impulsos otra función importante del axón es el transporte axoniano de materiales entre el soma y las terminaciones axonianas. En el *transporte anterógrado* la dirección ocurre desde el cuerpo celular hacia la terminación axoniana, en el *transporte retrógrado*, la dirección es desde la terminación axoniana hacia el cuerpo celular. El transporte axoniano es de crucial importancia para las *relaciones tróficas* entre las neuronas y los músculos o las glándulas. Si se interrumpen estas relaciones las células blancas experimentan atrofia.¹⁷

El transporte axoniano ocurre a tres velocidades: rápido, intermedio y lento. El transporte rápido (400 mm-día) es el anterógrado de los organitos, que se desplazan con mayor rapidez en el citosol. En el transporte retrógrado la velocidad máxima es menor de la mitad observada en el transporte anterógrado y la más lenta es de 0.2 mm-día. Las velocidades del transporte axoniano entre estos dos extremos se considera intermedio.¹⁷

Se emplea el transporte anterógrado en la translocación de organitos y vesículas, lo mismo que de macromoléculas como actina, miosina y clatrina y algunas de las enzimas necesarias para la síntesis de neurotransmisores a nivel de las terminaciones axonianas.¹⁷

3.1.5. Clasificación de las neuronas

Las neuronas se clasifican a menudo desde el punto de vista morfológico en cuatro tipos principales según su forma y la distribución de sus proyecciones:¹⁷

- ✚ **3.1.5.1. Neuronas unipolares**, poseen una sola proyección y son raras en los vertebrados, salvo al principio del desarrollo embrionario.¹⁷ (fig.30).



Fig.30. Neurona unipolar.²¹

- ✚ **3.1.5.2. Neuronas bipolares**, poseen dos proyecciones que salen del soma, una sola dendrita y un solo axón. Las neuronas bipolares están localizadas en los ganglios vestibular y coclear y en el epitelio olfatorio de la cavidad nasal.¹⁷ (fig.31).



Fig.31 Neurona bipolar.²¹

- ✚ **3.1.5.3. Neuronas pseudounipolares**, poseen sólo una proyección que sale del cuerpo celular, pero esta proyección se ramifica más tarde en una rama periférica y una central.¹⁷

La rama central entra en el SNC y la rama periférica procede hacia su destino del cuerpo.¹⁷ (fig.32).

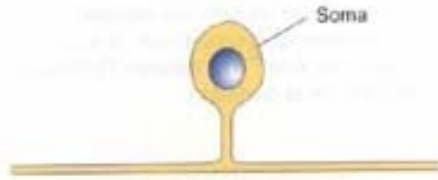


Fig. 32. Neurona pseudounipolar.²¹

- ✚ **3.1.5.4. Neuronas multipolares**, son el tipo más frecuente de neuronas, poseen diversas distribuciones de dendritas múltiples que salen del soma y un solo axón.¹⁷ (fig.33).

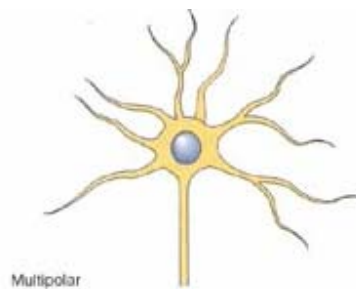


Fig.33. Neurona multipolar.²¹

Las neuronas se clasifican también en tres grupos generales según su función:¹⁷

- ✚ **3.1.5.5. Neuronas sensitivas** (aférentes) reciben estimulación sensitiva a nivel de sus terminaciones dendríticas y conducen impulsos hacia el SNC para su procesamiento. Las localizadas en la periferia del cuerpo vigilan los cambios en el ambiente, y las que se encuentran dentro del cuerpo vigilan el ambiente interior.¹⁷
- ✚ **3.1.5.6. Neuronas motoras** (eferentes) se originan en el SNC y conducen sus impulsos hacia los músculos, glándulas y otras neuronas.¹⁷

- ✚ **3.1.5.7. Interneuronas**, que están localizadas por completo dentro del SNC, funcionan como interconectoras o integradoras que establecen redes de circuitos neuronales entre las neuronas sensitivas y motoras y otras interneuronas.¹⁷

3.2. Neuroglia o glia

Se denomina neuroglia o glia a las células de sostén no neuronales. Esta comprende las células de la glia que se encuentran entre las neuronas del sistema nervioso central, y el epéndimo, que recubre las cavidades del encéfalo y la médula espinal. A menudo se denomina glia periférica a las células de Schwann de los nervios periféricos y a las células satélites que rodean los cuerpos celulares nerviosos de los ganglios espinales y de los ganglios de los nervios craneales.¹⁹

3.2.1. Células de la neuroglia

En los cortes histológicos del sistema nervioso central las células nerviosas y sus prolongaciones siempre están rodeadas por pequeños núcleos dispersos pertenecientes a las células de la glia, que se diferencian en astrositos, oligodendrocitos y microglia.¹⁹

3.2.1.1. Astrositos

Los astrositos son células con forma de estrella con numerosas prolongaciones citoplasmáticas, algunas de las prolongaciones están en contacto con un vaso sanguíneo formando *procesos pediculares* o *pies* perivasculares característicos.¹⁹

El núcleo es más claro que el de los demás tipos de células de la neuroglia y el citoplasma contiene numerosos filamentos y gránulos de glucógeno. (fig.34). Los filamentos son intermedios, compuestos por proteína ácida fibrilar glial (GFAP), el contenido de filamentos gliales es muy importante en uno de los tipos principales de astrositos, los *astrocitos fibrosos*, que se encuentran sobre todo en la sustancia blanca y presentan menos prolongaciones, mas largas y menos ramificadas que el otro tipo principal *astrocitos protoplasmáticos*, que se encuentran sobre todo en sustancia gris y poseen prolongaciones de forma muy variable.¹⁹



Fig.34 Astrocito fibroso.²²

Los astrositos tienen función mecánica de sostén y actúan como almacén para la migración de las neuronas durante el desarrollo del sistema nervioso central.¹⁹

Además separan a las neuronas y sus prolongaciones entre sí. También ejercen influencia reguladora sobre la actividad neuronal al eliminar los neurotransmisores, contribuir con sus precursores y regular el medio iónico extracelular. Los astrositos y las células de la neuroglia no generan potenciales de acción ni forman sinapsis. Están relacionadas mediante nexos pero no actúan como sinapsis dado que no hay potenciales de acción transmisible. Otra importante función de los astrositos es la producción de lactato a partir de glucosa, dado que las neuronas consumen lactato en lugar de glucosa.¹⁹

Los astrositos también conforman las células cicatrizales del sistema nervioso, durante la cicatrización ocupan los defectos titulares creados y se hacen más ricas en fibras. En consecuencia el tejido cicatrizal suele ser de consistencia más firme que el muy blando tejido cerebral por lo que se denomina esclerosis.¹⁹

3.2.1.2. Oligodendrocitos

Los oligodendrocitos poseen menos prolongaciones, menos ramificaciones que los astrositos (fig.35). Los núcleos son más pequeños y oscuros, su cuerpo celular es más pequeño y el citoplasma no contiene filamentos ni gránulos de glucógeno.¹⁹

Los *oligodendrocitos satélite* se encuentran adosados al cuerpo de las células nerviosas de la sustancia gris, por el contrario los *oligodendrocitos interfasciculares* se encuentran sobre todo en la sustancia blanca, formando hileras entre las fibras nerviosas.¹⁹

Los oligodendrocitos forman la mielina en el sistema nervioso central, por lo que son homólogos a las células de Schwann de la periferia.¹⁹

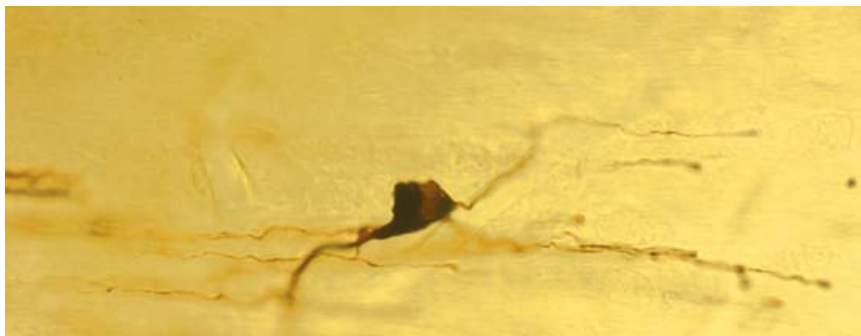


Fig.35. Oligodendrocito.²³

3.2.1.3. Microglia

Las células de la microglia son pequeñas y de tinción oscura que se parecen vagamente a los oligodendrocitos. Estas células manifiestan citoplasma escaso, un núcleo oval o triangular y proyecciones cortas e irregulares. El cuerpo celular y sus proyecciones parecen también espinas. Estas células funcionan como fagocitos para eliminar los desechos y las estructuras lesionadas en el sistema nervioso central.¹⁷

A diferencia de otras células de la neuroglia que se derivan desde el punto de vista embriológico del tubo neural, las células de la microglia se originan en la médula ósea y son parte de la población de células fagocíticas mononucleares.¹⁷

Derivan de los monocitos, los cuales quedan dentro del tejido nervioso en etapa embrionaria.¹⁷ (fig.36).



Fig. 36. Fotomicrografía de células de la Médula.⁴

3.2.1.4. Células ependimarias

Las células ependimarias son las células del epitelio cilíndrico bajo a cuboidal que reviste a los ventrículos cerebrales y al conducto central de la médula espinal. Se derivan del neuroepitelio embrionario del sistema nervioso en desarrollo.¹⁷

Su citoplasma contiene abundantes mitocondrias y haces de filamentos intermedios.¹⁷ (fig.37).

En los sitios en los que el tejido nervioso es delgado, las células endimarias forman una *membrana limitante interna* que reviste el ventrículo y una *membrana limitante externa* por debajo de la piamadre, formada por pedículos delgados fusionados.¹⁷

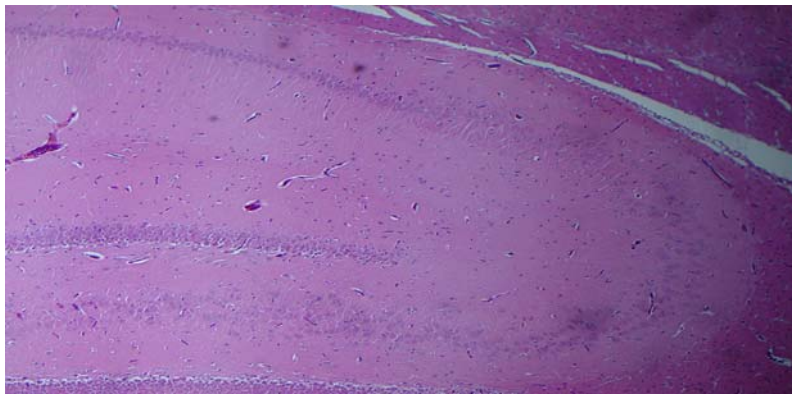


Fig.37. Fotomicrografía de células endimarias.⁴

3.2.1.5. Células de Schwann

Las células de Schwann son células aplanadas cuyo citoplasma contiene un núcleo aplanado, un aparato de Golgi pequeño y unas cuantas mitocondrias. En la vaina de mielina se encuentran interrupciones a intervalos regulares a toda la longitud del axón, que se denomina *nodos de Ranvier*, sitios en los que queda expuesto el axón.¹⁷ (fig.38).

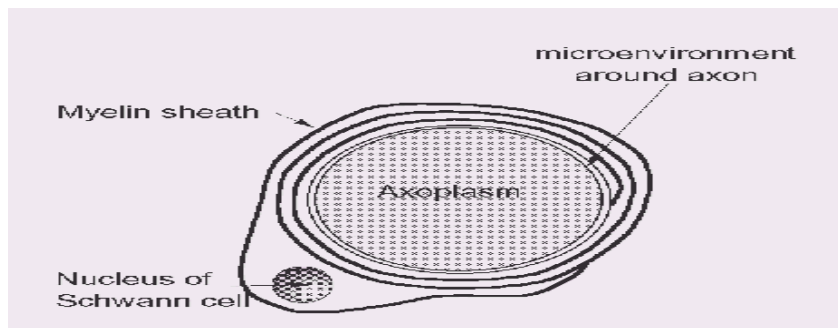


Fig.38 Células de schwann.²³

A diferencia de las otras células de la neuroglia, las células de Schwann están localizadas en el SNP, en el cual envuelven a los axones (mielínicos y no mielínicos). Los axones que tienen mielina envuelta a su alrededor se conocen como nervios mielínicos.¹⁹

En el sistema nervioso central la vaina de mielina está formada por los oligodendrocitos. Los numerosos axones amielínicos del sistema nervioso central pueden estar separados por células de la neuroglia, pero en apariencia no poseen una verdadera vaina correspondiente a la vaina de Schwann de los axones periféricos.¹⁹

Los nodos de Ranvier indican una interfase entre las vainas de mielina de dos células de Schwann diferentes localizadas a lo largo del axón. La porción externa de las células de Schwann está cubierta por una lámina basal que se sumerge en los nodos de Ranvier, y que cubre las zonas sobrepuestas de las laminillas de la vaina de mielina de las células de Schwann adyacentes. Por tanto cada célula de Schwann está cubierta por una lámina basal como lo está el axón en el nodo de Ranvier.¹⁷

4. Linajes celulares en la histogénesis del SNC

El origen del que proceden la mayor parte de las células del sistema nervioso central maduro se localiza en células madre multipotenciales del neuroepitelio primitivo.¹⁸ (fig.39).

Estas células experimentan numerosas divisiones mitóticas antes de madurar en células progenitoras y bipotenciales, que dan lugar a las células progenitoras neuronales o gliales. Dicha bifurcación del desarrollo está acompañada por un cambio en la expresión de los genes.¹⁸

Las células madre multipotenciales expresan una proteína de los filamentos intermedios que se denomina nestina.¹⁸



Fig. 39 cuadro de histogénesis del sistema nervioso central.²³

La nestina resulta inhibida a medida que los descendientes de las células progenitoras bipolares se separan en células progenitoras neuronales, que expresan proteína de los neurofilamentos, y las células progenitoras gliales, que expresan proteína gliofibrilar ácida.¹⁸

Las células progenitoras neuronales dan lugar a una serie de neuroblastos. Los neuroblastos bipolares son los primeros y tienen dos prolongaciones citoplasmáticas delgadas, que entran en contacto con la membrana limitante externa y el margen luminal central del tubo neural. Cuando la prolongación interna se retrae, el neuroblasto bipolar pierde el contacto con el margen luminal interno y se va convirtiendo en un neuroblasto unipolar. Estos neuroblastos unipolares acumulan grandes cantidades de retículo endoplásmico rugoso (sustancia Nissl), en su citoplasma y empieza a originar varias prolongaciones citoplasmáticas. En ese momento pasa a denominarse neuroblastos multipolares. Su principal actividad durante el desarrollo es emitir prolongaciones axónicas y dendríticas y establecer conexiones con otras neuronas u órganos terminales.¹⁸

El otro linaje principal originado en las células progenitoras bipotenciales es el glial. Las células progenitoras gliales siguen experimentando mitosis y su descendencia se divide en varias ramas. Una de ellas, la de las células progenitoras O-2A, es precursora de dos líneas de células gliales, que acaban convirtiéndose en los oligodendrocitos y en los astrositos de tipo 2.¹⁸

Otra línea glial da lugar a los astrositos de tipo 1; la procedencia de los oligodendrocitos en el ser humano se origina en células progenitoras localizadas en la zona ventricular ventral a los lados de la placa del piso. Desde allí se dispersan por todo el encéfalo y la médula espinal y acaban produciendo las cubiertas de mielina que rodean a las prolongaciones neuronales en la sustancia blanca. La formación de los precursores de los oligodendrocitos depende de una señal inductora surgida en la notocorda (Sonic hedgehog). Si se trasplanta esta estructura al lado del tubo neural dorsal, dichos precursores se diferenciarán allí, lo que demuestra que en esta zona residen células con capacidad para formar oligodendrocitos, pero que no se suelen desarrollar por la falta de señales inductoras adecuadas.¹⁸

La tercera línea glial tiene una historia más compleja. Las células progenitoras radiales dan origen a las células de la glía radial, que actúan como cables de guía en el cerebro para la migración de las neuronas jóvenes. Cuando las neuronas van emigrando a lo largo de ellas hacia la mitad de la gestación, inhiben la proliferación de este tipo de células. Una vez que las neuronas culminan el desplazamiento, las células de la glia radial quedan libres de su influencia inhibitoria y vuelven a empezar la mitosis. Su descendencia puede transformarse en diversos tipos celulares. Algunas son capaces de atravesar líneas de linaje y diferenciarse en astrositos tipo I, mientras que otras se diferencian en distintos tipos de células gliales especializadas o incluso en células endoteliales.¹⁸

No todas las células del sistema nervioso central se originan en el neuroepitelio¹⁸

Las células de la microglia, que ejercen una función fagocítica tras la lesión cerebral, son células migrantes derivadas del mesodermo. La microglia no se encuentra en el cerebro en desarrollo, hasta que éste es atravesado por vasos sanguíneos.¹⁸

5. Organización transversal fundamental del tubo neural en desarrollo

La médula espinal en desarrollo es un prototipo útil para estudiar las características generales del sistema nervioso central en sus aspectos estructural y funcional, ya que conserva su organización básica durante la mayor parte del proceso. Al empezar la diferenciación celular en el tubo neural, el neuroepitelio se engrosa y aparece estratificado. La capa celular más próxima a la luz del tubo neural (conducto central) sigue siendo epitelial y se denomina zona ventricular (antes zona ependimaria).¹⁸ (fig.40).

Esta capa, que todavía contiene células mitóticas, se acaba convirtiendo en el epéndimo, un epitelio cilíndrico que reviste el sistema ventricular y el conducto central del sistema nervioso central. Más allá de la zona ventricular se encuentra la zona intermedia (antes llamada manto), en la que se hallan los cuerpos celulares de los neuroblastos posmitóticos en diferenciación.¹⁸

Conforme estos elementos siguen generando prolongaciones axónicas y dendríticas, todas ellas forman una zona marginal periférica que contiene prolongaciones neuronales pero no somas celulares.¹⁸

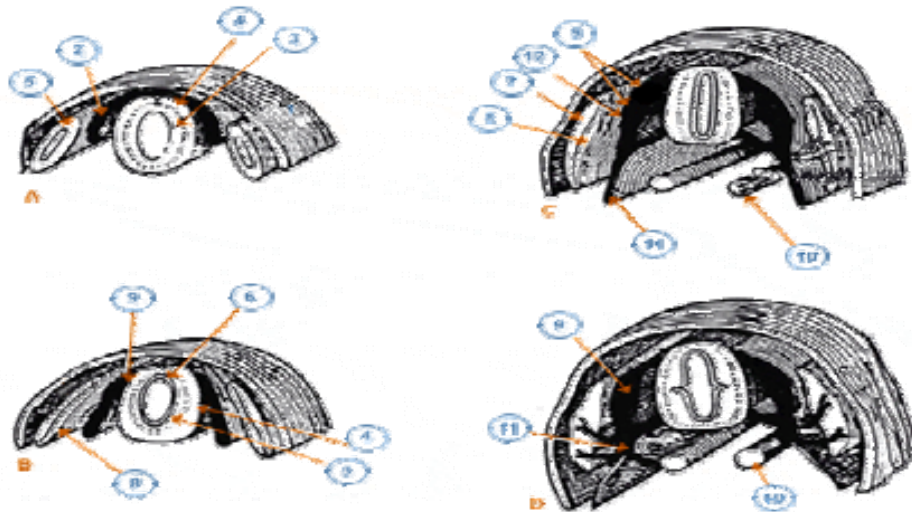


Fig. 40. Órganos derivados de la cresta neural. 1. tubo neural. 2. cresta neural. 3. capa del manto. 4. capa marginal. 5. somito. 6. epéndimo. 7. dermatoma 8. miotoma 9. raíz posterior del nervio raquídeo. 10. cadena simpática. 11. nervio espinal (raquídeo). 12. raíz anterior del nervio raquídeo.²⁴

Cuando madura la médula espinal, la zona intermedia se convierte en la sustancia gris, donde están situados los cuerpos de las neuronas. La zona marginal se denomina sustancia blanca por el color que producen los numerosos haces de fibras nerviosas mielínicas presentes en esa capa. Durante el desarrollo, las poblaciones de células progenitoras de la zona ventricular en fase de proliferación se agotan en gran parte, y las células que quedan se acaban transformando en el epitelio de la capa ependimaria.¹⁸

Una vez constituidas las capas básicas de la médula espinal, se pueden reconocer una serie de rasgos topográficos significativos en sus cortes transversales. El surco limitante dentro del conducto central divide la médula en una placa alar dorsal y una placa basal ventral a cada lado de dicho conducto.¹⁸

Las placas alares derechos e izquierdos poseen una conexión dorsal por encima del conducto central mediante una delgada placa del techo, mientras que las dos placas basales están unidas a nivel ventral a través de la placa del suelo.¹⁸

La placa basal representa el componente motor de la médula espinal. Los axones que se originan en las neuronas situadas en el asta ventral de la sustancia gris salen de la médula espinal integrados en las raíces motoras ventrales de los nervios raquídeos. La sustancia gris de la placa alar, llamada asta dorsal, se asocia a las funciones sensitivas. Los axones sensitivos procedentes de los ganglios raquídeos (derivados de la cresta neural), entran en la médula espinal en forma de raíces dorsales y hacen sinapsis con las neuronas del asta dorsal. Una pequeña prolongación de sustancia gris que queda entre el asta dorsal y ventral en los niveles medulares desde T1 hasta L2 contiene los somas celulares de las neuronas autónomas. Esta prolongación se denomina asta lateral o en ocasiones columna gris intermediolateral.¹⁸

La placa del suelo es mucho más que una mera conexión anatómica entre las placas basales derecha e izquierda. Las células que la constituirán en el futuro son las primeras que se diferencian en la placa neural tras la inducción primaria del sistema nervioso. Los trabajos experimentales indican que existe una influencia específica de la notocorda sobre las células neuroepiteliales que la cubren. Si se injerta una nueva notocorda a lo largo de la superficie lateral del tubo neural, las más próximas a ellas adquieren las propiedades correspondientes a las células de la placa del suelo. Por el contrario, si se reseca un segmento de notocorda normal, las células neuroepiteliales situadas sobre ella no desarrollan estas propiedades. Su efecto sobre la placa del suelo hace que la notocorda también tenga una gran influencia en la organización de las raíces ventrales y dorsales que entran y salen de la médula espinal. Si falta el tubo neural se cierra, pero no se observan estos elementos como tales y en su lugar aparecen numerosas fibras nerviosas ectópicas.¹⁸

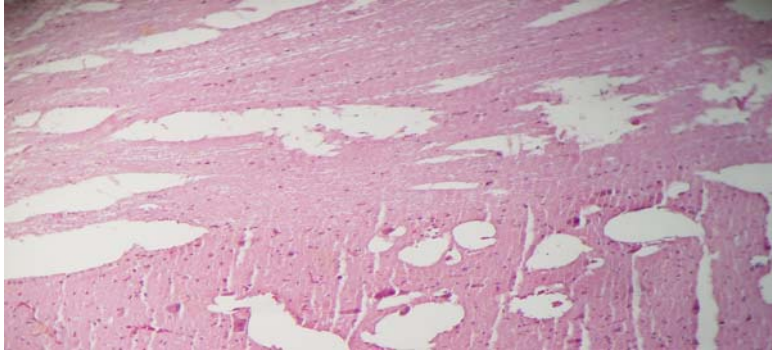
Si la futura placa del suelo se separa en dos, el lado del tubo neural en el que queda la notocorda forma unas raíces dorsales y ventrales normales, mientras que en el lado desprovisto de estas estructuras nacen unos nervios ectópicos.¹⁸

Existe un fundamento molecular para la adopción de este patrón transversal en la placa y el tubo neural primitivo. En la placa neural temprana, los factores de transcripción que contiene homeosecuencias Pax-3, Pax-7, Msx-1 y Msx-2, se expresan por toda su extensión. Incluso antes de que la placa neural se pliegue para formar el tubo neural, la notocorda, que está adherida a dicha placa en la línea media durante esta fase, libera sonic hedgehog. Dichas señales locales estimulan a las células de la placa neural situadas justo encima de la notocorda para transformarse en la placa del suelo. Uno de los primeros estadios de este proceso consiste en reprimir la expresión de Pax-3 y Pax-7, lo que permite que las células neuroectodérmicas de la placa neural cercana a la línea media adquieran un destino ventral (es decir que se encaminan hacia las placas basal o del suelo). Las células de la propia placa del suelo se convierten a continuación en productoras de sonic hedgehog.¹⁸

El establecimiento de la organización transversal del tubo neural en su conjunto no sólo implica una influencia en sentido ventral de la notocorda, sino también una influencia opuesta del tipo dorsal a partir del ectodermo epidérmico adyacente al tubo neural en desarrollo. ¹⁸

En las regiones laterales de la placa neural (futura región dorsal del tubo neural), la expresión del BMP-4 Y BMP-7, por el ectodermo no neural en su unión con la placa neural lateral ejerce una acción inductora en sentido dorsal sobre las células neuroectodérmicas, al aumentar las concentraciones de Pax-3, Pax-7, Msx-1 y Msx-2. Este efecto determina la constitución de la placa del techo y de la placa alar. ¹⁸

Tras este cierre del tubo neural, la influencia de BMP provoca la formación de interneuronas sensitivas en la mitad dorsal de la médula espinal (placa alar).¹⁸ (fig. 41).



*Fig. 41. Fotomicrografía de células de la Médula espinal.*⁴

A medida de que se van organizando las regiones a gran escala de los cortes transversales de la médula espinal, una red molecular sometida a un estricto control sienta las bases para especificar los principales tipos de neuronas presentes en la parte ventral de la médula espinal. Dentro de la placa basal se encuentran 5 tipos de neuronas: las motoneuronas y 4 clases de interneuronas, que se disponen según un patrón dorsoventral bien definido. Estos tipos neuronales quedan especificados por combinaciones concretas de factores de transcripción de homeodominios, cuyo patrón de expresión está determinado por un gradiente de sonic hedgehog que se origina en la placa del suelo. Algunos de estos factores de transcripción (los de clase I) son reprimidos en distintos niveles dorsoventrales por el gradiente de Shh, mientras que otros los de clase II, son inducidos por él. El resultado neto de todo ello es que una combinación distinta de los factores de transcripción en los diversos niveles dorsoventrales determina cada uno de los cinco tipos de neuronas, que a su vez se caracterizan por una firma molecular única. Un tipo determinado, el islet-1, es propio de las motoneuronas. Poco después de interrumpirse la producción de estas células, un cambio en los factores reguladores estimula la aparición de células progenitoras gliales a partir del neuroepitelio ventral.¹⁸

Este proceso conduce a la formación de los oligodendrocitos, que quedan firmemente vinculados a las neuronas.¹⁸

Además de inducir a las motoneuronas, la placa del suelo también cumple otras funciones dentro del sistema nervioso en desarrollo. Una serie de prolongaciones neuronales cruza de un lado a otro del sistema nervioso central a través de dicha placa, formando los axones comisurales. Estos axones que se originan en los somas de las neuronas situadas en la mitad dorsal del tubo neural, son atraídos hacia la placa del suelo por unas moléculas específicas producidas en esa región. En animales que carecen de esta molécula, los axones comisurales están desorganizados y no siguen este trayecto hasta el lado contrario. La placa del suelo no sólo atrae a determinados tipos de axones, sino que también repele a otros. Un ejemplo específico es el nervio troclear (IV par craneal), cuyos axones no cruzan hacia el lado contrario desde sus cuerpos celulares de origen por la presencia en la placa del suelo de algunas moléculas que los rechazan y que todavía no se han determinado.¹⁸

6. Cambios estructurales posteriores del sistema nervioso central

6.1. Histogénesis dentro del sistema nervioso central

Una diferencia principal entre la médula espinal y el encéfalo es la distribución de las sustancias blanca y gris. En la médula la sustancia gris ocupa un lugar central, y la sustancia blanca la rodea. En muchas partes del encéfalo, esa distribución se invierte, de forma que existe una gran zona central de sustancia blanca y capas de sustancia gris superficiales a la misma.¹⁸

Uno de los procesos fundamentales en la histogénesis cerebral es la migración celular. Desde sus lugares de origen cerca de los ventrículos cerebrales, los neuroblastos migran hacia la periferia siguiendo unos patrones determinados.¹⁸

Estos patrones suelen concluir en la aparición de múltiples capas en la sustancia gris encefálica. Unos factores participantes fundamentales en la migración son las células de la glía radial, que extienden prolongaciones largas desde sus cuerpos celulares situados cerca de la luz ventricular hacia la periferia de la corteza en desarrollo. Las neuronas posmitóticas jóvenes, que son específicamente células bipolares simples, rodean a dichas células de la glía radial y las emplean como guía para la migración desde sus lugares de origen hacia la periferia.¹⁸

En las áreas de la corteza cerebral caracterizadas por seis capas de sustancia gris, las neuronas grandes que se encuentran en la capa más interna migran antes. Las demás capas de la sustancia gris están formadas por neuronas más pequeñas, que migran a través de la primera capa y de otras formadas antes para dar origen a una nueva capa de sustancia gris en la periferia. Con este patrón de histogénesis la capa más externa de neuronas es la que se forma en último lugar, mientras que la más interna se constituye primero.¹⁸

No toda la migración neuronal dentro del sistema nervioso central sigue el patrón de dentro hacia afuera que se ha descrito antes. Se produce una migración neuronal paralela a la superficie durante el desarrollo precoz del cerebelo y, a diferencia de lo que sucede en la corteza cerebral, en las tres capas de la sustancia gris del hipocampo y los colículos superiores, las neuronas de las capas externas son más antiguas, mientras que las internas son las más recientes.¹⁸

Cada día más pruebas indican que la corteza cerebral, aunque en apariencia carece de unas características determinadas, es una matriz de unidades radiales columnares que están constituidas por las células de la glía radial y los neuroblastos que emigran a lo largo de ellas. Pueden existir hasta 200 millones de unidades radiales en la corteza cerebral humana.¹⁸

Dichas unidades radiales empiezan como unidades proliferativas, de forma que la mayor parte de las neuronas corticales se generan entre los días 40 y 125. Como sucede en muchos aspectos de la diferenciación neural, el número de unidades radiales parece sensible a su propio estímulo aferente nervioso. Por ejemplo, en los casos de **anofthalmía congénita** (ausencia de ojos), los estímulos nerviosos de las vías visuales al área de la corteza occipital asociada a la visión están reducidos, lo que se traduce en alteraciones macroscópicas y microscópicas de la corteza visual, secundarias sobre todo a una menor cantidad de unidades radiales en esta zona.¹⁸

6.2. Médula espinal

En la médula espinal, los estímulos aferentes de muchos nervios sensitivos periféricos se distribuyen en forma de arcos reflejos locales o se canalizan hacia el encéfalo a través de haces de axones. También los mensajes motores que se originan en el encéfalo se distribuyen hacia las zonas correspondientes de la periferia por medio de las vías motoras y las raíces ventrales (motoras) de los distintos nervios raquídeos. Aunque varios aspectos de la organización de la médula espinal ya se han comentado antes, ahora se revisan algunos de forma breve por su valor para comprender la organización básica del encéfalo.¹⁸

La médula espinal se divide en las regiones de la placa alar y basal, que son precursoras de las regiones sensitivas y motoras de la médula. La médula madura muestra una organización similar, pero estas regiones se dividen en componentes somáticos y viscerales.

Dentro del encéfalo existe aún otra capa de estímulos aferentes y eferentes con componentes especiales, como se muestra en el cuadro.¹⁸

Regiones funcionales del encéfalo y la médula espinal

PLACA ALAR (AFERENTE O SENSITIVA)

- Aferente somática general: estímulos sensitivos originados en la piel, las articulaciones y los músculos.
- Aferente visceral especial: estímulos sensitivos de los botones gustativos y la faringe.
- Aferente visceral general: estímulos sensitivos de las vísceras y el corazón.

PLACA BASAL (EFERENTE: MOTORA O AUTÓNOMA)

- Eferente visceral general: conexiones autónomas (dos neuronas) entre el asta intermedia y las vísceras.
- Eferente visceral especial: nervios motores a los músculos estriados de los arcos faríngeos.
- Eferente somática general: nervios motores a los músculos estriados no derivados de los arcos faríngeos.⁷

Un cambio macroscópico en la médula espinal con relevancia clínica es su acortamiento relativo con la columna vertebral. En el primer trimestre, la médula espinal ocupa toda la longitud del tronco, y los nervios raquídeos atraviesan los espacios intervertebrales justo enfrente de su lugar de origen. En los meses posteriores, el crecimiento de la parte posterior del cuerpo supera el de la columna vertebral y la médula espinal, pero el crecimiento de la médula se retrasa de forma significativa respecto al de la columna. Esta disparidad apenas resulta aparente en las regiones craneales y torácica¹⁸

La consecuencia de esa diferencia en el crecimiento es un considerable alargamiento de las raíces nerviosas raquídeas lumbares, sacras dorsales y ventrales para ajustarse al incremento de distancia entre su punto de origen y el espacio intervertebral correspondiente. Este cambio da a la médula un aspecto global de cola de caballo (de donde deriva su nombre). Un delgado filum terminal a modo de filamento se extiende desde que acaba la médula espinal hasta la base de la columna vertebral e indica el desplazamiento original de la médula. Esta organización es útil para el clínico, porque el espacio disponible por debajo del final de la médula resulta un lugar seguro para extraer líquido cefalorraquídeo con el fin de analizarlo.¹⁸

6.3. Mielencéfalo

El mielencéfalo, la división más caudal del rombencéfalo se convierte en el bulbo raquídeo del encéfalo adulto. En muchos aspectos se trata de una estructura de transición entre el encéfalo y la médula espinal, y existen evidentes paralelismos entre su organización funcional y la de la médula. Gran parte del bulbo sirve como sistema de conducción para las vías que unen el encéfalo con los núcleos de entrada y salida de la médula espinal, aunque también contiene centros para la regulación de funciones vitales, como el latido cardiaco y la respiración.¹⁸

6.4. Metencéfalo

El metencéfalo, la subdivisión más craneal del romboencéfalo comprende dos partes fundamentales: la *protuberancia* que está en continuidad directa con el bulbo, y el *cerebelo*. La formación de estas estructuras depende del funcionamiento de *engrailed-1* en la región inicial del mesencéfalo y rombencéfalo.¹⁸

Como su nombre indica la protuberancia o puente derivada de la placa basal, hace la función de transportar los haces de fibras nerviosas entre los centros encefálicos superiores y la médula espinal. Su organización fundamental es como la del mielencéfalo con tres conjuntos de núcleos aferentes y eferentes.¹⁸

Además de estos en la sustancia blanca ventral existen otros núcleos ponticos especiales, con origen en los neuroblastos derivados de la placa alar. La parte caudal de la protuberancia también tiene una placa del techo aumentada de tamaño parecida a la del mielencéfalo.¹⁸

El cerebro es otro derivado de la placa alar estructural y funcionalmente complejo, pero a nivel filogénico se originó como una especialización del sistema vestibular. Tiene otras funciones como el control de la coordinación en general de la intervención en los reflejos visuales y auditivos.¹⁸

6.5. Mesencéfalo

El mesencéfalo es una parte del encéfalo relativamente sencilla a nivel estructural, en la cual se conserva en esencia las relaciones fundamentales entre la placa basal y la placa alar. Como sucede en la médula espinal, la organización dorsoventral del mesencéfalo depende en gran medida de las señales del sonic hedgehog procedentes del suelo, que además de facilitar el desarrollo de las neuronas en la placa basal, suprime la expresión de las moléculas típicas de la placa alar.¹⁸

Las placas basales forman una región con abundantes neuronas que se denominan *tegumento* (calota), en la que se localizan los núcleos eferentes somáticos de los pares craneales III y IV, que inervan la mayoría de los músculos extrínsecos del ojo. Un pequeño núcleo eferente visceral, el núcleo de Edinger-Westpal, es responsable de la inervación del esfínter de la pupila.¹⁸

Las placas alares forman la parte sensitiva del mesencéfalo, encargadas de la función de la visión y de la audición.¹⁸

6.6. Diencéfalo

En la región craneal del mesencéfalo, la organización del encéfalo en desarrollo se modifica de tal forma que es difícil correlacionar su morfología posterior con la disposición fundamental en placa alar y placa basal.¹⁸

El desarrollo del diencéfalo precoz se caracteriza por la aparición de dos partes de engrosamiento prominentes en las partes laterales del tercer ventrículo. Estas elevaciones flanquean el conducto central muy dilatado en esta región. El par de masas de mayor tamaño presenta el tálamo en desarrollo, en el que las vías nerviosas de centros encefálicos superiores forman sinapsis con las de otras regiones del cerebro o el tronco del encéfalo. Entre los muchos núcleos talámicos se encuentran los que reciben estímulos aferentes de los sistemas auditivos y visuales y lo transmiten a las regiones correspondientes de la corteza cerebral.¹⁸

En su desarrollo posterior los engrosamientos talámicos pueden llegar a crecer hasta llegar a encontrarse y fusionarse en la línea media a través del tercer ventrículo, conexión que se denomina *masa intermedia*.¹⁸

6.7. Telencéfalo

El desarrollo del telencéfalo está dominado por una expansión drástica de las vesículas telencefálicas bilaterales, que se acaban convirtiendo en los hemisferios cerebrales. Las paredes de las vesículas telencefálicas rodean a los ventrículos laterales dilatados, que son evaginaciones del tercer ventrículo del diencéfalo en la línea media.¹⁸

Aunque los hemisferios cerebrales aparecen primero como estructuras laterales, la dinámica de su crecimiento hace que se aproximen a la línea media por encima del techo del diencéfalo y mesencéfalo. Los dos hemisferios cerebrales nunca llegan a reunirse en la línea media dorsal, porque quedan separados por un delgado tabique de tejido conjuntivo (parte de la duramadre), que se denomina *hoz del cerebro*. Por debajo de este tabique, los dos hemisferios cerebrales están conectados por el techo ependimario del tercer ventrículo.¹⁸

V. DISCUSIÓN

De acuerdo a lo presentado a lo largo del desarrollo de esta investigación, cabe destacar que la actividad de los centros cerebrales no es de exclusividad, es decir, cada centro cumple con una función predominante, pero interviene también en otras funciones adyacentes.

Si bien las células nerviosas dañadas no se recuperan, estas sí pueden recuperar algunas de sus funciones, debido a que la concurrencia de diversos centros para una misma función lo hace posible cuando las alteraciones son limitadas.

El Sistema Nervioso constituye el sistema de control más importante del organismo y junto con el sistema endocrino, desempeña la mayoría de las funciones de regulación. En general, el Sistema Nervioso controla las actividades rápidas del cuerpo, como las contracciones musculares, los fenómenos viscerales que evolucionan rápidamente, e incluso las secreciones de algunas glándulas endocrinas. En cambio, el sistema endocrino, regula principalmente las funciones metabólicas del organismo.

El Sistema Nervioso Central realiza las más altas funciones, ya que atiende y satisface las necesidades vitales y da respuesta a los estímulos. Ejecuta tres acciones esenciales, que son:

- ✚ la detección de estímulos tanto dentro del cuerpo como fuera de él.
- ✚ la transmisión de información de un centro a otro.
- ✚ la coordinación general del cuerpo.

El cerebro es el órgano clave de todo este proceso. Sus diferentes estructuras rigen la sensibilidad, los movimientos, la inteligencia y el funcionamiento de los órganos. Su capa más externa, la corteza cerebral, procesa la información

recibida, la coteja con la información almacenada y la transforma en material utilizable, real y consciente.

El Sistema Nervioso permite la relación entre nuestro cuerpo y el exterior, además regula y dirige el funcionamiento de todos los órganos del cuerpo.

A menudo, se compara el Sistema Nervioso con una máquina o computadora ya que las unidades periféricas que serían los sentidos aportan una gran cantidad de información a través de los cables de transmisión en este caso los nervios para que la unidad de procesamiento central que es el cerebro, provista de su banco de datos la memoria, la ordene, la analice, la muestre y por último la ejecute.

Sin embargo, la comparación termina aquí, en la mera descripción de los distintos elementos, ya que la informática aunque avanza a enormes pasos, aun está lejos en que llegue el día en que se disponga de un ordenador compacto, de componentes baratos y sin mantenimiento, capaz de igualar la rapidez, la sutileza y precisión del cerebro humano.

Las máquinas cibernéticas pueden aprender, recordar, calcular, pero son inferiores con relación al hombre, pues sólo hacen esas operaciones ante un sólo problema, ellas no pueden programarse a sí mismas, mientras que el hombre conserva sus recuerdos y es capaz de programar dichas máquinas.

También se habla acerca de las diferencias existentes entre el hombre y el animal, se basa en el poder que tiene el hombre para abstraer, inventar símbolos y tener un lenguaje articulado cosa que un animal no puede hacer.

El Sistema Nervioso y hormonal ha sido desarrollado para que todos los sistemas realicen una actividad conjunta y efectiva. Ambos sistemas difieren en la rapidez para desencadenar una respuesta, el sistema nervioso lo hace rápidamente, y las hormonas con un poco más de lentitud

También dentro del Sistema Nervioso Central existe un elemento de gran importancia que es la médula espinal, es de suma importancia conocer la estructura básica, posiciones y las funciones que de el se derivan, ya que las lesiones de médula espinal pueden ocurrir como consecuencias de accidentes automovilísticos, caídas, heridas o por armas de fuego, también el daño a la médula espinal y de los nervios espinales puede asociarse con fracturas, infecciones, tumores entre otros. La evaluación del daño neurológico de la médula espinal exige el conocimiento de la ubicación de las principales vías nerviosas y grupos de células nerviosas en la médula espinal y la capacidad para correlacionar la evidencia radiológica y de todas las fuentes de información de la lesión en la médula espinal y el déficit que estos pueden causar.

Por ultimo cabe mencionar que como siempre que se establece al hablar del origen y el desarrollo del Sistema Nervioso Central y de cualquier sistema, estos frecuentemente presentan variaciones en los diferentes individuos, cabe hacer la salvedad una vez más que todo lo descrito anteriormente está sujeto a cambios.

VI. CONCLUSIONES

El Sistema Nervioso es un tejido de relación, permanente y con una característica muy importante en relación con otros tejidos es que este no se regenera. Además de que el sistema nervioso central es una estructura extraordinariamente compleja que recoge millones de estímulos por segundo los procesa y los memoriza continuamente, adaptando las respuestas del cuerpo a las condiciones internas o externas.

El Sistema Nervioso Central (SNC), se origina desde el epitelio del tubo neural y su tejido nervioso contiene neuronas, células de neuroglia y capilares sanguíneos que forman la barrera hemato-encefálica.

El tejido nervioso está disperso en el organismo interlazándose y formando una red de comunicaciones que constituye el sistema nervioso. El tejido nervioso está conformado por dos componentes:

- 1) Las neuronas, células que presentan generalmente largas prolongaciones.
- 2) Varios tipos de células de la glía o neuroglia que además de servir de sostén de las neuronas participan en la actividad neuronal, en la nutrición de las neuronas y la defensa del tejido nervioso.

Existen también dentro del Sistema Nervioso células de sostén que rodean a las neuronas y desempeñan funciones de soporte, defensa, nutrición y regulación de la composición del material intercelular.

En el SNC existe una separación entre los cuerpos celulares de las neuronas y sus prolongaciones. Esto hace que se reconozcan en el encéfalo y en la médula espinal dos porciones distintas denominada sustancia blanca y sustancia gris.

La sustancia gris se llama así porque muestra esta coloración cuando se observa macroscópicamente, formada principalmente por cuerpos celulares de las neuronas y las células de la glía conteniendo también prolongaciones de neuronas.

La sustancia blanca está constituida por prolongaciones de neuronas y por células de la glía, con gran cantidad de un material blanquecino, la mielina, que envuelve a los axones de las neuronas.

Las neuronas responden a las alteraciones del medio en que se encuentran (estímulos) con modificaciones en la diferencia de potencial eléctrico existente entre las superficies externa e interna de la membrana celular, llamado impulso nervioso.

El Sistema Nervioso Central está formado por 2 importantes órganos. El Cerebro y la Médula espinal. El Cerebro constituye la masa principal del encéfalo y es lugar donde llegan las señales procedentes de los órganos de los sentidos, de las terminaciones nerviosas nociceptivas y propioceptivas. Se desarrolla a partir del telencéfalo. El cerebro procesa toda la información procedente del exterior y del interior del cuerpo y las almacena como recuerdos. Aunque el cerebro sólo supone un 2% del peso del cuerpo, su actividad metabólica es tan elevada que consume el 20% del oxígeno.

La médula espinal transmite los impulsos ascendentes hacia el cerebro y los impulsos descendentes desde el cerebro hacia el resto del cuerpo. Transmite la información que le llega desde los nervios periféricos procedentes de distintas regiones corporales, hasta los centros superiores. El propio cerebro actúa sobre la médula enviando impulsos. La médula espinal también transmite impulsos a los músculos, los vasos sanguíneos y las glándulas a través de los nervios que salen de ella, bien en respuesta a un estímulo recibido, o bien en respuesta a señales procedentes de centros superiores del sistema nervioso central.

VII BIBLIOGRAFÍA

1. Leeson Thomas, Lesson Roland y Paparo Anthony. Texto/Atlas de Histología. 5ª edición. Ciudad de Mexico. Editorial Medica panamericana. 1998. Pp. 263-305.
2. Galiano Álvaro. Anatomía y Fisiología del Sistema Nervioso. [Púb. Med.]. 25 May 2006, 9 plantillas. Disponible en: URL: <http://www.iqb.es/neurologia/a002.htm#>
3. Ross Michael, Romrell Lynn y Gordon Kaye. Histología texto y atlas a color. 3ª edición. Ciudad de México. Editorial Médica Panamericana. 1999. Pp 254-281.
4. Morales Sánchez Israel. Histología, Embriología y Genética, Facultad de Odontología UNAM. Ciudad de México. 2007.
5. Latarjet M. y Ruiz Lizard A. Anatomía Humana. 3ª. edición. Madrid España: Editorial Médica Panamericana. 1997. Pp 149, 164-184.
6. Mora Rafael. Neurología. [serial online]. Abril 2005. 1 plantilla. Disponible en URL: <http://www.iessuel.org/salud/nuevima/encefalo.gif>
7. Mabel Del Giúdice Lúcia. Sistema Nervioso Central. [Púb.. Med.]. 2004. 1 plantilla Disponible en: URL : <http://www.monografias.com/trabajos5/sisner/sisner.html>
8. Bosch Barrera Joaquim. Apuntes de Anatomía. [Púb.. Med.]. 22 julio 2006. 27 plantillas. Disponible en: URL <http://apuntesanatomia.iespana.es/img7.htm>

9. Rocha Sandra. Sistema Nervioso Central en vertebrados. [Púb.. Med.]. 2001 . 1 plantilla. Disponible en: URL: <http://curlygirl.naturlink.pt/nervoso.htm>
10. Fernández Valentín, Rodés Tubau. Atlas Cerebral. [Púb.. Med.]. 2006. 1 plantilla. Disponible en URL: <http://www.psicoadictiva.com/atlas/tronco.htm>
11. Miranda Vilela Ana Luisa. Anatomía y Fisiología Humana. [Púb.. Med.]. noviembre 2006. 1 plantilla. Disponible en URL: <http://www.afh.bio.br/nervoso/nervoso3.asp>
12. Quiroz Gutiérrez Fernando. Tratado de anatomía humana. 37^a edición tomo II. Ciudad de México: Editorial Porrúa. 2000. Pp 287-360.
13. Joly A. Carlos. Instituto de Biología. [Púb.. Med.]. 2007. 2 plantillas. Disponible en URL: <http://www.ib.unicamp.br/.../310/mesencefalo/index.htm>
14. Hospital de la Sta. Creu i Sant Pau. Neuropsicología. [Púb.. Med.]. 1 octubre 2003. 1 plantilla. Disponible en URL: <http://www.neuropsicol.org/Np/mesenc.htm>
15. Snell Richard. Neuroanatomía clínica. 5^a edición. Madrid España. Editorial Médica Panamericana. 2003. Pp 139-164.
16. Beltran Mena. Atlas de Neurología. Abril 2005. 8 plantillas. Disponible en URL: <http://escuela.med.puc.cl/paginas/cursos/primerero/NEUROANATOMIA/Cursoenlinea/atlas/cap4/priat4.html>

17. Gardner Leslie, y Tiah James. Histología texto y atlas. 1ª edición. Ciudad de México. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. 1997. Pp 162-195.
18. Carlson Bruce. Embriología Humana y Biología del desarrollo. 3ª edición. Génova España. Editorial Elsevier. 2005. Pp 234-240, 252-264.
19. Genesser Finn. Histología sobre bases Biomoleculares. 3ª edición. Buenos Aires, Argentina. Editorial Médica Panamericana. 2003. Pp 327-332, 344-356.
20. Husband Scott. Experimental Psychology. Abril 2000. [Púb.. Med.]. 1 plantilla. Disponible en URL: http://luna.cas.usf.edu/~husband/expsych/fig_axon.htm
21. Universidad de Navarra. Tipos de Neuronas. 2004. [Púb.. Med.]. 24 plantillas. Disponible en URL: <http://www.unav.es/tecnun/psicologia/basesbiologicas/>
22. Pontifica Universidad Católica do Rio Grande do Sul . Sistema Nervioso, 2007. [Púb.. Med.]. 9 plantillas. Disponible en URL: <http://www.pucrs.br/fabio/atlas/histologia/sisnervoso.htm>
23. Universidad de Valladolid Departamento de Biología Celular y Farmacología. [Púb.. Med.]. Noviembre 2003. 4 plantillas, Disponible en URL: http://www.med.uva.es/~biocel/Practicas/PHistologia/Practica_14G.html
24. Universidad Central del Ecuador Facultad de Odontología. Sistema Nervioso. [Púb.. Med.]. 2006. 19 plantillas. Disponible en URL: <http://www.histodonto.com/nervioso.htm>