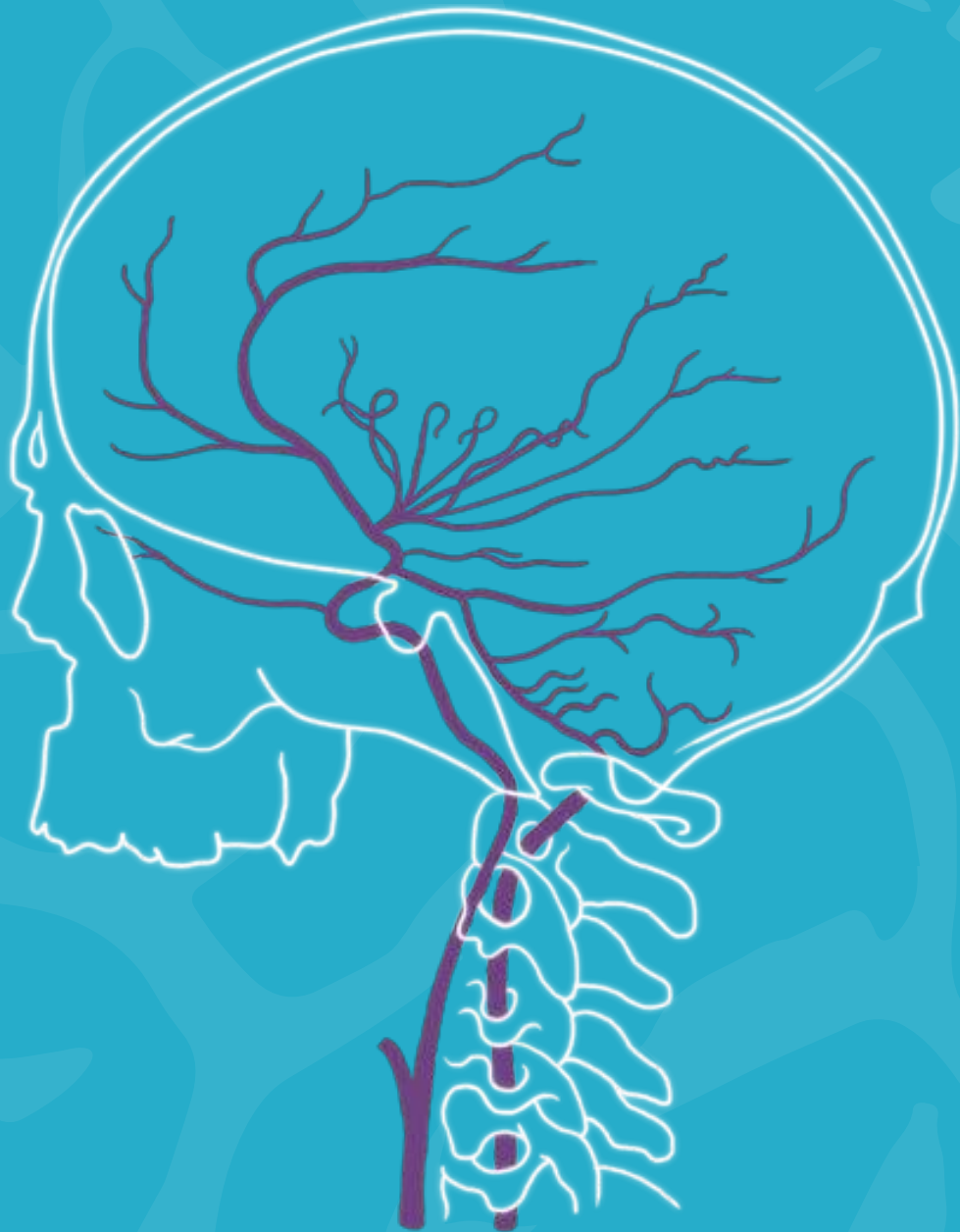


# NEUROANATOMÍA

Fundamentos de neuroanatomía estructural,  
funcional y clínica



**Edgar Osuna Suárez**

*Editor*

**Luis Enrique Caro Henao**  
**Gustavo Patiño Fernández**







# NEUROANATOMÍA

Fundamentos de neuroanatomía  
estructural, funcional y clínica

*Centro Editorial  
Facultad de Medicina  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Bogotá*



medicina  
básica



# NEUROANATOMÍA

Fundamentos de neuroanatomía  
estructural, funcional y clínica

*Edgar Osuna Suárez*  
*Luis Enrique Caro Henao*  
*Gustavo Patiño Fernández*

Diciembre de 2016



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

### **Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia**

Osuna Suárez, Edgar Danilo, 1951-

Neuroanatomía / Edgar Osuna Suárez, Luis Enrique Caro Henao, Gustavo

Patiño Fernández. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Medicina, 2016.

196 páginas: ilustraciones a color. -- (Medicina básica)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-775-926-6 (rústica). -- ISBN 978-958-775-927-3 (e-book). --

ISBN 978-958-775-928-0 (impresión bajo demanda)

Contenido: volumen 1. Fundamentos de neuroanatomía estructural, funcional y clínica

1. Neuroanatomía 2. Neurofisiología 3. Sistema nervioso -- Anatomía & histología 4. Neurorradiografía 5. Estudios de casos I. Caro Henao, Luis Enrique, 1951- II. Patiño Fernández, Gustavo III. Título IV. Serie

NLM WL101 / 2016

### **Neuroanatomía. Fundamentos de neuroanatomía estructural, funcional y clínica**

© Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

Facultad de Medicina

© Vicerrectoría de Sede Bogotá

Dirección de Investigación y Extensión – DIEB

© Editor

Edgar Osuna Suárez

Primera edición, 2016

ISBN: 978-958-775-926-6 (Papel)

ISBN: 978-958-775-927-3 (Digital)

ISBN: 978-958-775-928-0 (IPD)

### **Facultad de Medicina**

#### **Decano**

Ariel Iván Ruiz Parra

#### **Vicedecano de Investigación y Extensión**

Fernando Pío de la Hoz Restrepo

#### **Vicedecano Académico**

Juan Manuel Arteaga Díaz

#### **Coordinadora Centro Editorial**

Angela Manuela Balcázar Muñoz

### **Preparación editorial**

Centro Editorial Facultad de Medicina

upublic\_fm bog@unal.edu.co

#### **Diseño editorial**

Beatriz Osuna

#### **Diseño de carátula**

Beatriz Osuna / Oscar Gómez Franco

#### **Corrección de estilo**

Javier Carrillo Zamora

#### **Diagramación**

Oscar Gómez Franco

#### **Corrección ortotipográfica**

Javier Carrillo Zamora

#### **Colección**

Medicina Básica

Hecho en Bogotá, D. C., Colombia, 2016

Todas las imágenes de esta obra son propiedad de los autores salvo cuando se indique lo contrario.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Los conceptos emitidos son responsabilidad de los autores y no comprometen el criterio de los editores o el de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

## AUTORES



**Edgar Osuna Suárez**

Profesor titular  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
Facultad de Medicina  
Departamento de Morfología

Profesor clínico  
Hospital Universitario Fundación Santa Fe de Bogotá  
Facultad de Medicina  
Universidad de los Andes



**Luis Enrique Caro Henao**

Profesor titular  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
Facultad de Medicina  
Departamento de Morfología



**Gustavo Patiño Fernández**

Profesor asistente  
Universidad de Oakland  
Facultad de Medicina William Beaumont  
Departamento de Ciencias Biomédicas

## CONTENIDO

Capítulo 1	
<b>CONCEPTOS GENERALES</b>	<b>15</b>
Orientación anatómica	19
Planos de orientación	20
Otros términos de uso común	21
<b>Introducción a la histología del sistema nervioso</b>	<b>21</b>
Neuronas	22
Glía en el sistema nervioso central	27
Glía en el sistema nervioso periférico	28
<b>Introducción a la neuroanatomía</b>	<b>29</b>
Cerebro	30
Tronco cerebral	33
Cerebelo	33
Cordón espinal	34
<b>Introducción a la neurorradiología clínica</b>	<b>36</b>
Tomografía axial computarizada (TAC)	36
Imágenes por resonancia magnética (IRM)	38
Neuroangiografía	44
<b>Referencias</b>	<b>44</b>
Capítulo 2	
<b>DESARROLLO DEL SISTEMA NERVIOSO</b>	<b>47</b>
<b>Formación de las vesículas</b>	<b>50</b>
<b>Migración neuronal</b>	<b>53</b>
<b>Crecimiento axonal</b>	<b>53</b>
Signos no difusibles para el crecimiento axonal	54
Signos difusibles para el crecimiento axonal	55
<b>Formación de sinapsis</b>	<b>55</b>
<b>Ejercicios clínicos</b>	<b>56</b>
<b>Referencias</b>	<b>57</b>
Capítulo 3	
<b>HISTOLOGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO</b>	<b>59</b>
<b>Neuronas</b>	<b>61</b>
<b>Glía</b>	<b>65</b>
<b>Lecturas recomendadas</b>	<b>70</b>



Capítulo 4	
<b>CEREBRO</b>	<b>73</b>
<b>Configuración superficial</b>	<b>75</b>
Cara inferior	76
Cara lateral	79
Cara medial	82
<b>Configuración interior</b>	<b>87</b>
Cortes horizontales	87
Ejercicios clínicos	93
Cortes coronales	94
Sistema ventricular	100
Ejercicios clínicos	103
<b>Referencias</b>	<b>104</b>
Capítulo 5	
<b>TRONCO CEREBRAL</b>	<b>107</b>
<b>Configuración superficial</b>	<b>109</b>
<b>Mesencéfalo</b>	<b>112</b>
Sustancia negra	114
Núcleos rojos	115
Sustancia gris periacueductual	116
Fascículos del mesencéfalo	118
Ejercicios clínicos	118
<b>Puente o protuberancia</b>	<b>119</b>
Región basal del puente	120
Tegmento del puente	122
Ejercicio clínico	123
<b>Médula oblongada o bulbo raquídeo</b>	<b>124</b>
Región basal de la médula	126
Tegmento de la médula	126
Ejercicios clínicos	130
<b>Cerebelo</b>	<b>131</b>
<b>Cuarto ventrículo</b>	<b>134</b>
<b>Plexos coroideos</b>	<b>134</b>
Ejercicios clínicos	136
<b>Referencias</b>	<b>137</b>
Capítulo 6	
<b>CORDÓN ESPINAL</b>	<b>139</b>
<b>Configuración exterior</b>	<b>141</b>
<b>Configuración interior</b>	<b>145</b>
Sustancia gris	145
Sustancia blanca	147
Ejercicios clínicos	149
<b>Referencias</b>	<b>153</b>
Capítulo 7	
<b>CIRCULACIÓN DEL ENCÉFALO Y DEL CORDÓN ESPINAL</b>	<b>155</b>
<b>Circulación arterial del encéfalo</b>	<b>157</b>
Circulación anterior	158
Circulación posterior	162
Polígono cerebral o de Willis	166

Ejercicios clínicos	168
<b>Circulación arterial del cordón espinal</b>	<b>172</b>
Arterias radicales	173
Arterias espinales posteriores	173
Arteria espinal anterior	173
Ejercicio clínico	174
<b>Circulación venosa del encéfalo</b>	<b>174</b>
Senos venosos	174
Venas cerebrales	176
Venas del tronco cerebral y del cerebelo	177
<b>Circulación venosa del cordón espinal</b>	<b>178</b>
Ejercicio clínico	178
<b>Referencias</b>	<b>179</b>
Capítulo 8	
<b>MENINGES</b>	<b>181</b>
<b>DURAMADRE</b>	<b>184</b>
Duramadre craneana	184
Duramadre raquídea	187
<b>Aracnoides</b>	<b>188</b>
<b>Piamadre</b>	<b>190</b>
<b>Líquido Cefalorraquídeo</b>	<b>191</b>
Ejercicios clínicos	191
<b>Referencias</b>	<b>194</b>
Capítulo 9	
<b>EVOLUCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO</b>	<b>197</b>
<b>Origen del sistema nervioso</b>	<b>199</b>
<b>Sistema nervioso en protóstomos</b>	<b>201</b>
Protóstomos Lophotrochozoa	201
Protóstomos Ecdysozoa	202
<b>Sistema nervioso en deuteróstomos</b>	<b>202</b>
Deuteróstomos no cordados	202
Deuteróstomos cordados invertebrados	202
Deuteróstomos craniata o vertebrados	203
<b>Sistema nervioso central en vertebrados</b>	<b>204</b>
Cordón espinal	204
Bulbo raquídeo o médula oblongada	204
Sistema reticular	204
Cerebelo	205
Mesencéfalo	205
Diencefalo	205
Telencefalo	205
<b>Cambios en el tamaño encefálico de vertebrados</b>	<b>206</b>
Tamaño relativo	206
Tamaño absoluto	207
<b>Cambios morfofuncionales en Hominoideos y Homíninos</b>	<b>207</b>
Tamaño del encéfalo	207
Modificaciones funcionales y de conducta en primates	208
Diferencias entre humanos y demás primates	209
<b>Lecturas recomendadas</b>	<b>210</b>
<b>Índice analítico</b>	<b>213</b>

# PREFACIO

## EVITAR LA NEUROFOBIA

Entre los estudiantes de pregrado y posgrado de las diferentes áreas de la salud, las neurociencias suscitan cierto rechazo o fobia por diversas razones como, por ejemplo, la complejidad de su nomenclatura y sus funciones, el tiempo que demanda su aprendizaje y el método pedagógico mediante el cual se enseñan.

En artículos publicados en diferentes revistas, algunos autores han señalado que la *neurofobia* surge cuando el estudio de la neuroanatomía se extiende al estudio de otras áreas como la neurofisiología y la neurología clínica. Uno de los factores que desmotiva más a los estudiantes de neuroanatomía es que por años se han enseñado aspectos que resultan irrelevantes en la práctica clínica y dificultan el aprendizaje en esta área. Por tal razón, a menudo se solicita a los docentes de neurociencias que enfoquen su enseñanza en los aspectos más básicos y simples, y que estimulen al estudiante a profundizar en estos. Así pues, es necesario dedicar más tiempo en el currículo para la enseñanza de la neuroanatomía y señalar al estudiante desde un principio la aplicabilidad de este conocimiento en la práctica clínica.

Los objetivos principales de este libro son: evitar la *neurofobia*, enseñar de manera simple y escalonada diferentes aspectos sobre la neuroanatomía y su correlación iconológica y clínica, y resaltar la importancia de la neuroanatomía en la interpretación de imágenes diagnósticas —como la tomografía axial por computador (TAC) y la resonancia magnética nuclear (RMN)— y de hallazgos clínicos. Se espera que esta obra sea interesante para el lector y contribuya de manera sencilla a su comprensión sobre la complejidad de la neuroanatomía. Todos los comentarios y sugerencias serán útiles para enriquecer futuras ediciones.

El segundo volumen de esta obra estará dedicado a los aspectos neurofuncionales y su aplicación en la neurología clínica (casos clínicos).

**Edgar Osuna Suárez MD**

## LECTURAS RECOMENDADAS

1. Schon F, Hart P, Fernandez C. Is clinical neurology really so difficult? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2002;72(5):557-9.
2. Flanagan E, Walsh C, Tubridy N. 'Neurophobia' – attitudes of medical students and doctors in Ireland to neurological teaching. *Eur J Neurol*. 2007;14(10):1109-12.
3. Lim E, Seet R. Demystifying neurology: preventing 'neurophobia' among medical students. *Nat Clin Pract Neurol*. 2008;4(8):462-3. <http://doi.org/bck55f>.



## AGRADECIMIENTOS

*Por su importante colaboración y contribución a este proyecto, el Centro Editorial de la Facultad de Medicina y los autores agradecen a Alejandro Tobón MD, del Departamento de Neurología, University of Texas Health Science Center at San Antonio; Daniel Vela MD, del Departamento de Neurología, Stroke Unit, School of Medicine, University of Colorado, Denver; y Carlos Florido MD, Director del Departamento de Morfología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.*



CAPÍTULO 1

# CONCEPTOS GENERALES

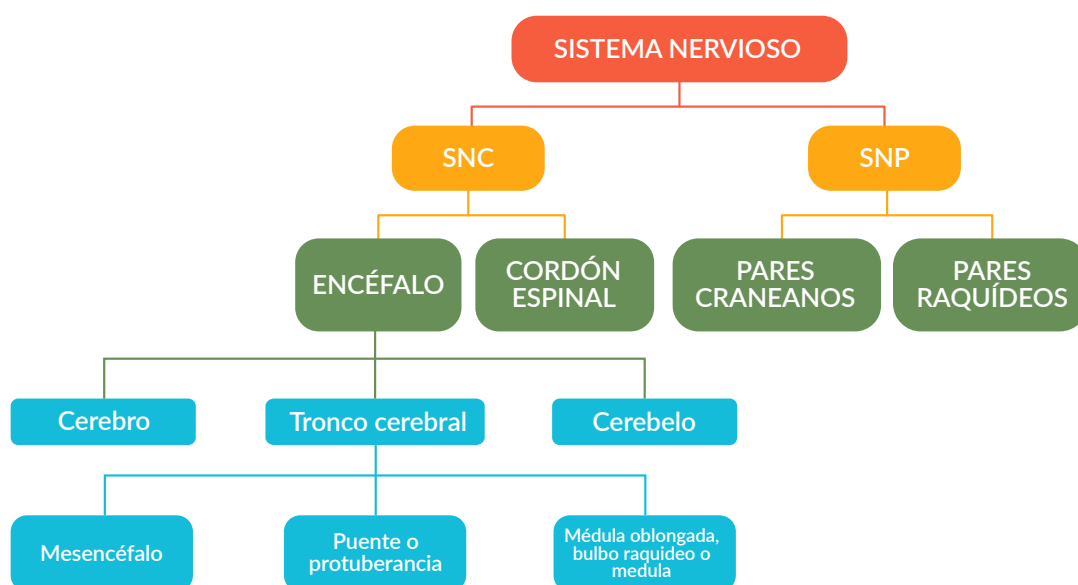






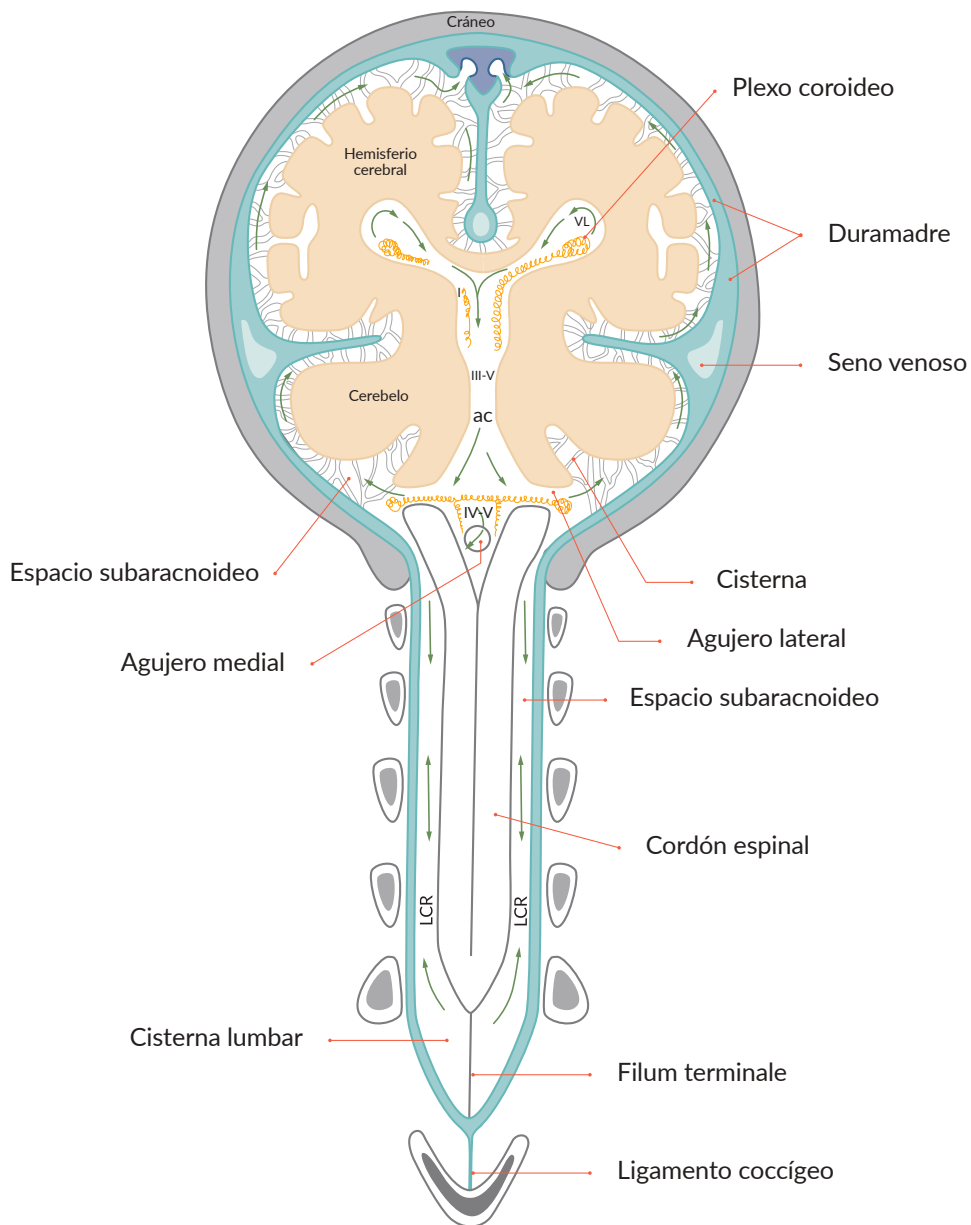
Las neurociencias agrupan diferentes disciplinas que se dedican al estudio del sistema nervioso desde distintas perspectivas. Entre estas disciplinas están la neuroanatomía, la neurofisiología, la neurología, la neuropatología, la neurofarmacología, las ciencias comportamentales y la biología molecular. Para el desarrollo de estas, es fundamental tener conocimiento de la conformación estructural macroscópica (neuroanatomía) y microscópica (neurohistología) del sistema nervioso. El propósito de este libro es mostrar al lector, de manera escalonada, la complejidad morfológica del sistema nervioso y la forma en que sus diferentes estructuras se relacionan para producir múltiples comportamientos y, cuando ocurre una falla, alteraciones clínicas.

Desde el punto de vista neuroanatómico y funcional, el sistema nervioso se divide en: sistema nervioso central (SNC o neuroeje) y sistema nervioso periférico (SNP). El SNC se encarga de procesar la información sobre el medio ambiente y el estado del cuerpo para generar un comportamiento adecuado en respuesta a los estímulos analizados. El SNC está constituido por el encéfalo, que ocupa la cavidad craneana, y el cordón espinal, que ocupa parte del conducto raquídeo. El SNP está compuesto por los pares craneanos, relacionados de alguna manera con el cráneo, y los pares raquídeos, relacionados con las vértebras. Los nervios periféricos son los responsables de llevar información aferente o sensitiva desde la periferia hacia el SNC, e información eferente o motora desde el SNC hacia los órganos blanco, como músculos y glándulas (figura 1.1).



**Figura 1.1.** Esquema general de la estructura del sistema nervioso.

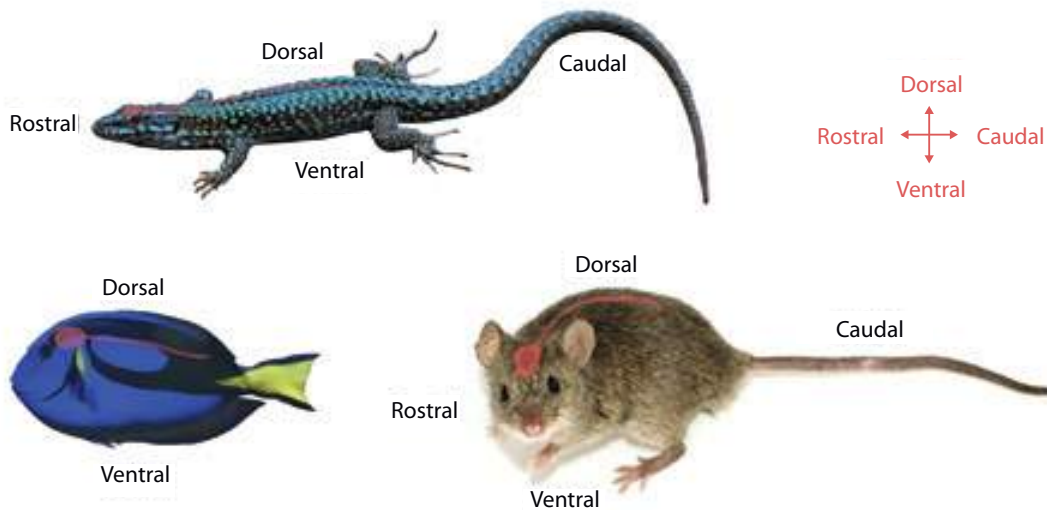
El sistema nervioso central requiere de protección especial; por eso se encuentra recubierto por el cráneo, las vértebras que forman el conducto raquídeo y tres capas de tejido conjuntivo denominadas *meninges*: la duramadre, la aracnoides y la piamadre. La duramadre es la capa más externa y gruesa, la piamadre es la capa que tapiza la superficie del neuroeje y, entre estas dos membranas, se encuentra la aracnoides, que se adhiere a la cara interna de la duramadre. Entre la aracnoides y la piamadre se encuentra el espacio subaracnoideo, que contiene líquido cefalorraquídeo (LCR). En este líquido se encuentra suspendido todo el neuroeje. Las secciones en las que el espacio subaracnoideo se ensancha se conocen como *cisternas*. Un ejemplo de estas es la cisterna lumbar, que se observa en la figura 1.2. En esta figura se aprecia también el filum terminale, una prolongación de la piamadre que une el cordón espinal a la duramadre. El ligamento coccígeo es una prolongación de la duramadre que se fija al hueso cóccix.



**Figura 1.2.** Esquema del sistema nervioso central (neuroeje) recubierto por el cráneo, las vértebras, las meninges y el LCR (→). VL: ventrículo lateral; III-V: tercer ventrículo; IV-V: cuarto ventrículo; ac: acueducto cerebral; 1: agujero interventricular.

## Orientación anatómica

Para la descripción de direcciones y planos de cortes en el estudio del sistema nervioso se utiliza un vocabulario específico. En ciertas especies animales como los reptiles, los roedores o los peces, cuyo sistema nervioso tiene una orientación lineal, se emplean los términos de la figura 1.3.



**Figura 1.3.** Orientación del sistema nervioso central en reptiles, peces y roedores.  
Fuente: adaptadas de (1-3).

La palabra ventral (del latín *venter*: vientre) designa la sección que mira hacia la tierra, dorsal (del latín *dorsum*: revés o espalda) denota la parte que mira hacia el firmamento, rostral (del latín *rostrum*: pico) es la sección del hocico o trompa, y caudal es la sección de la cola. El uso de estos términos cambia en los humanos dada su postura bípeda. El sistema nervioso humano presenta una acodadura cercana a los 90° entre el encéfalo y el cordón espinal, es decir, a nivel del mesencéfalo. De manera que las estructuras que están por encima del mesencéfalo mantienen una orientación similar a la de los reptiles. Pero del mesencéfalo hacia el cordón espinal, esta orientación sufre una rotación de 90° y asume una posición perpendicular a la tierra, como lo indica la figura 1.4.

En síntesis, las relaciones espaciales en el encéfalo y el cordón espinal se describen con los siguientes términos:

**Medial-lateral:** medial significa «hacia el plano medio o sagital» y lateral, «en dirección opuesta al plano medio».

**Rostral-caudal:** por encima del mesencéfalo, rostral significa «hacia la porción frontal del hemisferio» y caudal, «hacia la porción posterior del hemisferio». A nivel del mesencéfalo y debajo de este, rostral significa «hacia la corteza cerebral» y caudal, «hacia la región sacra».

**Dorsal-ventral:** por encima del mesencéfalo, dorsal se refiere a la parte superior del hemisferio cerebral y ventral, a la parte inferior de este. Del mesencéfalo hacia el cordón espinal, dorsal denota la superficie posterior del cuerpo y ventral designa la superficie anterior del cuerpo.

Existen otros términos que se utilizan con frecuencia para la orientación del SNC y que permanecen constantes respecto al entorno, para las estructuras situadas tanto encima como debajo del mesencéfalo (figura 1.4). Estos son:

**Anterior–posterior:** por encima del mesencéfalo, anterior significa «hacia la parte frontal del cerebro» y posterior, «hacia la parte trasera del cerebro». A nivel del mesencéfalo y debajo de este, anterior significa «hacia la porción ventral del cuerpo» y posterior, «hacia la porción dorsal del cuerpo».

**Superior–inferior:** en general, superior significa «en dirección al cerebro» e inferior, «en dirección al cordón espinal».

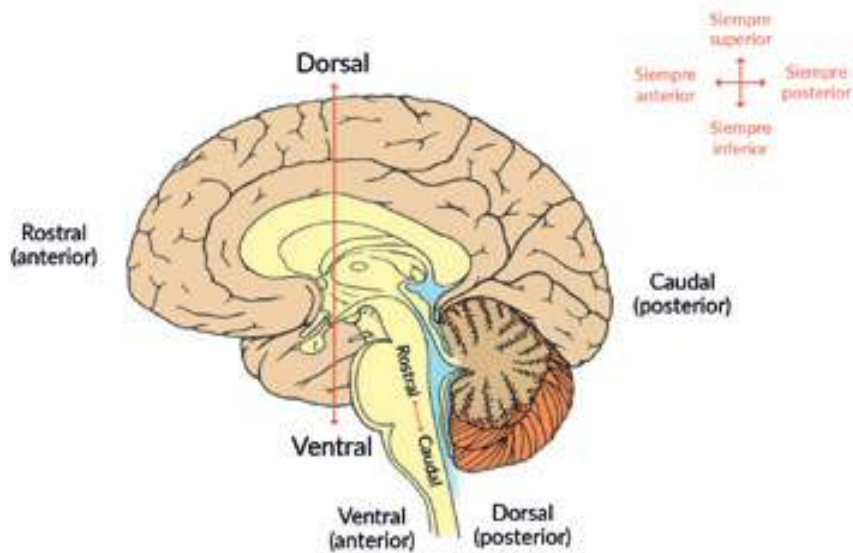


Figura 1.4. Términos para indicar orientación en el SNC.

## Planos de orientación

Cuando se estudia el sistema nervioso desde una perspectiva anatómica, patológica o en imágenes diagnósticas, generalmente se utilizan tres tipos de cortes ortogonales (figura 1.5):

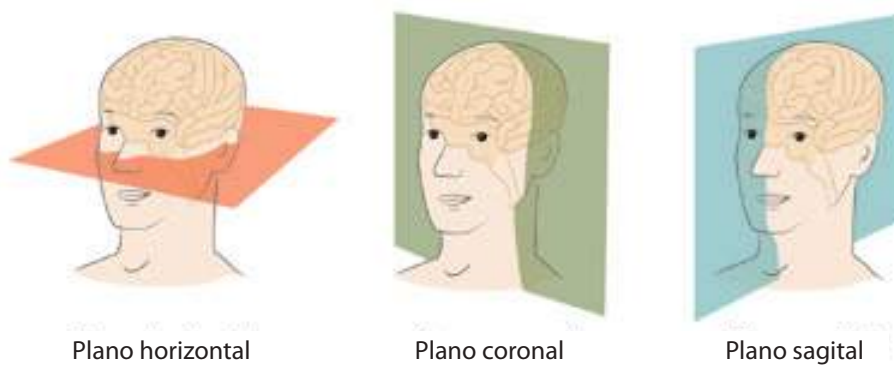


Figura 1.5. Disposición de los tres planos de referencia anatómica.

**Horizontal:** también conocido como axial o transversal, es paralelo al piso o perpendicular al eje longitudinal del cuerpo.

**Coronal:** también denominado frontal, es un corte paralelo al eje longitudinal del cuerpo y perpendicular al sagital que pasa a nivel de los pabellones auriculares.

**Sagital:** también llamado corte medial, divide el encéfalo en dos mitades iguales y cursa a través de la línea media. Aquellos que son paralelos al plano sagital se denominan *planos parasagitales*.

## Otros términos de uso común

**Ipsolateral:** en el mismo lado de un punto específico.

**Contralateral:** al lado opuesto de un punto específico.

**Comisura:** grupo de fibras que conectan lados opuestos del encéfalo.

**Núcleo:** grupo (cuerpo) de neuronas localizado en una región específica del encéfalo o del cordón espinal, que recibe información de las mismas fuentes, proyecta sus axones a regiones similares y comparte funciones con otros núcleos.

**Decusación:** cruce de fibras nerviosas en forma de X.

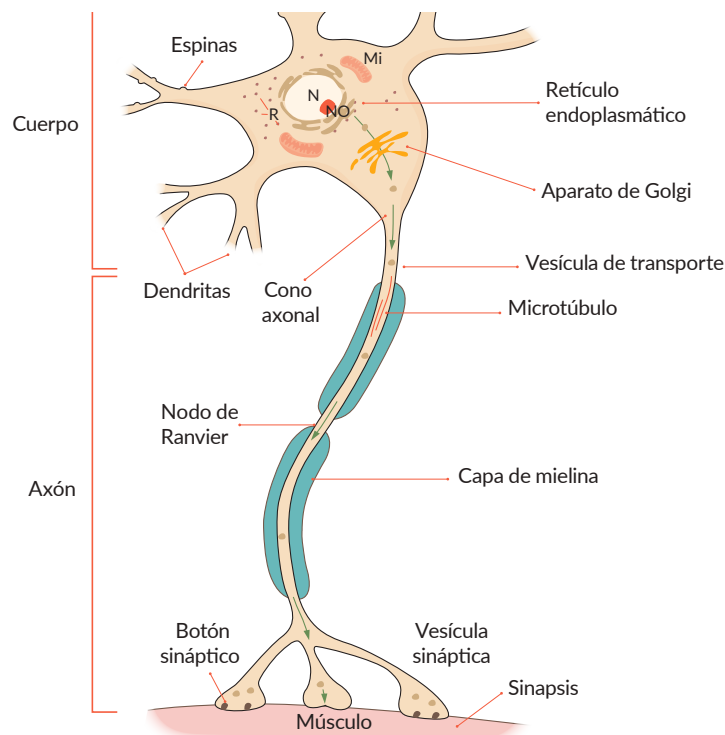
**Tracto:** grupo de fibras nerviosas que poseen la misma función. Se conoce también como fascículo.

**Proximal:** que se encuentra cerca del SNC o de un punto de referencia.

**Distal:** que se encuentra lejos del SNC o de un punto de referencia.

## INTRODUCCIÓN A LA HISTOLOGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso está compuesto por dos tipos principales de células: las células nerviosas (neuronas) y las células gliales (glía). Ambas comparten muchas características de las células comunes; pero las neuronas poseen la habilidad de comunicarse en forma precisa y rápida con otras células distantes. Además de estos dos, en la actualidad se reconocen otros tipos de células indispensables para el adecuado funcionamiento del sistema nervioso: las células endoteliales, las células inmunes y las células madre.



**Figura 1.6.** Partes de la neurona y sinapsis entre el axón y el músculo. Mi: mitocondria; N: núcleo; NO: nucléolo; R: ribosomas.