

SISTEMA NERVIOSO

Neuroanatomía funcional y clínica

2ª Edición



Colección Salud

Escobar, Martha I.
Sistema nervioso / Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta.--
2a. edición.-- Bogotá : Programa Editorial Universidad del
Valle, 2016.
520 páginas ; 28 cm.-- (Colección salud)
Incluye índice de contenido
1.Neuroanatomía 2.Neurobiología 3.Sistema nervioso- Fisiología
4.Cerebro I.Pimienta, Hernán, autor II. Serie.
612.81 cd 21 ed.
A1526586

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle

Programa Editorial

Título: Sistema nervioso. Neuroanatomía funcional y clínica

Autores: Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

ISBN: 978-958-765-235-2

ISBN-PDF: 978-958-765-973-3

DOI: 10.25100/peu.355

Colección: Salud

Segunda edición 2016

Primera reimpresión

Rector de la Universidad del Valle: Edgar Varela Barrios

Vicerrectora de Investigaciones: Jaime R. Cantera Kintz

Director del Programa Editorial: Omar J. Díaz Saldaña

© Universidad del Valle

© Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Diseño, diagramación: Hugo H. Ordóñez Nievas

Ilustraciones: Hugo H. Ordóñez Nievas,

Alejandro Chará, Miguel Montenegro

Fotografías: Selene García Calán

Libro publicado con recursos del proyecto de inversión

36205517

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita por la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación, razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, julio de 2019

Martha I. Escobar • Hernan J. Pimienta

SISTEMA NERVIOSO

Neuroanatomía funcional y clínica

2ª Edición



Colección Salud

*Para Miguel y María,
siempre presentes.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle por la confianza depositada a lo largo de tantos años.

A nuestros maestros del Departamento de Morfología de la Universidad del Valle, Jorge Aragón (Q.E.P.D), Ives Chatain (Q.E.P.D), Jorge Cruz y Alberto Delgado (Q.E.P.D), por darnos ejemplo de rigurosidad, persistencia y compromiso. A nuestros queridos compañeros del Centro de Estudios Cerebrales, Santiago Cruz, Jesús Díaz-Granados, Jaime Quevedo, Sofy Martínez, Henry Téllez y Arcesio Zúñiga (Q.E.P.D), por las profundas y a la vez amenas discusiones en los miércoles de neurociencias. A los profesores de la Sección de Neurocirugía del Hospital Universitario del Valle, Carlos Acevedo (Q.E.P.D), Antonio Montoya, Arnoldo Levy, Miguel Velázquez y en especial al Dr. Alfredo Pedroza por acompañarnos siempre. Al doctor Rodrigo Guerrero Velasco por señalarnos el camino a la excelencia. A los colegas nacionales e internacionales que apreciaron y reconocieron nuestro trabajo. Igualmente agradecemos a los estudiantes de pregrado y a los del programa de maestría y doctorado en Ciencias Biomédicas, quienes sin excepción han contribuido para preservar nuestra motivación en ese continuo deseo de aprender que es enseñar.

Finalmente, agradecemos a los Doctores Carolina Isaza, Fernando Gómez e Inés Castro de la Clínica Neurocardiovascular, DIME, por el apoyo imagenológico. Al departamento de morfología por permitirnos la utilización de los especímenes, a los fotógrafos, dibujantes, diagramadores Selene García, Alejandro Chará, Miguel Montenegro y Hugo Ordoñez, Y a los Doctores Mauricio Palacios y Francisco León por impulsarnos a emprender esta nueva edición.

PREFACIO

La presente obra, Sistema Nervioso de los profesores Martha Isabel Escobar Betancourt y Hernán José Pimienta Jiménez, se deriva de un principio esencial de la Facultad de Salud de la Universidad del Valle cual es la fortaleza de las ciencias básicas médicas sustentada en el vínculo entre la formación y la investigación de calidad. Los autores de esta obra han desempeñado esta doble función durante su extensa actividad profesoral, han cubierto todos los niveles de formación, estudiantes de pregrado de las diferentes áreas de las ciencias de la salud y los programas de formación mas avanzada de maestría, especializaciones clínicas y doctorado. Es obvio que esta amplia experiencia docente, les permitió cubrir los puntos mas relevantes y necesarios para lograr una fundamentación sobre la estructura y organización funcional del sistema nervioso del humano.

Los profesores han centrado su actividad investigativa en la compleja estructura de la corteza cerebral del humano haciendo contribuciones en el conocimiento de la organización de la cito-arquitectura de las células piramidales y de la compleja red de interneuronas que las acompañan, bajo esta línea se han formado estudiantes de maestría y doctorado que con el desarrollo de sus proyectos han aportado al conocimiento en este campo.

Las ilustraciones originales obtenidas en su laboratorio del Centro de Estudios Cerebrales de la Universidad del Valle evidencia un trabajo continuo y de excelente calidad.

El libro esta conformado por 34 capítulos, que dan inicio con una descripción de la organización general del sistema nervioso y sus componentes; detalla e ilustra de manera precisa la organización celular del sistema nervioso, sus relaciones y patrones de conectividad. Con esos fundamentos se procede al estudio de la organización macroscópica en sentido céfalo-caudal, es decir, empezando por los hemisferios cerebrales hasta terminar en la médula espinal. Para las diferentes estructuras se especifican sus relaciones topográficas, su organización celular, los patrones de conectividad más reconocidos, su organización neuroquímica y se agregan algunos comentarios clínicos en pertinencia con las áreas estudiadas.

Finalmente, el amplio numero de ilustraciones histológicas, especímenes anatómicos e imagenología facilitan el aprendizaje de una estructura tan compleja como el Sistema Nervioso.

Gerardo Campo Cabal, M.D.

Decano

Facultad de Salud

PRÓLOGO

El número de estrellas del universo y su organización palidece en comparación con la complejidad de la arquitectura del cerebro humano: un órgano constituido por 10^{10} neuronas cada una de ellas estableciendo 10^4 conexiones en promedio. La diversidad de interacciones neuroquímicas y los patrones de actividad eléctrica, continúan siendo valorados por la investigación hasta el presente. Igualmente las células gliales que superan en número a las neuronas y el especializado sistema de vascularización constituyen una enmarañada red de interacciones que desafían las más detalladas descripciones. A pesar de lo anterior el proceso evolutivo ha culminado en un órgano con un esquema de parcelación bastante uniforme, ya sea en citoarquitectura, dendroarquitectura, mieloarquitectura, pigmentoarquitectura o quimioarquitectura.

Utilizando la literatura más reciente el libro *Sistema Nervioso* de los profesores Martha Escobar y Hernán Pimienta muestran la organización general del sistema, sus variantes regionales, sus subsistemas sensitivo, motor, asociativo, autonómico y límbico. Este es un libro fácil de seguir y bien organizado lo cual es impresionante dado al cúmulo de conocimiento recogido por los autores. El libro es una guía que permite transitar entre aspectos anatómicos y funcionales al cubrir detalles micro y macroscópicos, neuroquímicos y de conectividad. Se destaca la organización celular en la cual los autores tienen décadas de experiencia, con múltiples estudios seminales sobre la corteza cerebral del ser humano.

La mayor parte de las ilustraciones y fotografías han sido obtenidas en el laboratorio del *Centro de Estudios Cerebrales*. Las imágenes anatómicas se complementan con imágenes diagnósticas clínicas como resonancias

y tractografías, para resaltar la utilidad de la organización estructural en las aplicaciones clínicas. Se esbozan diagramas de los circuitos principales para facilitar la comprensión del sistema y se incentiva a profundizar en los temas a través de lecturas escogidas que aparecen al final de cada capítulo. De la misma manera, en cada capítulo se incluyen comentarios clínicos hechos por especialistas del tema, lo cual fortalece las correlaciones y el aprendizaje. El resultado final ha sido una excelente combinación de texto e imágenes.

El *Sistema Nervioso* es un texto fácil de seguir de manera independiente, a través de un curso de neuroanatomía funcional o como libro de consulta para estudiantes de pregrado de ciencias de la salud, maestría, doctorado y especializaciones en áreas clínicas médicas. También permite refrescar conocimientos básicos a quienes llevamos muchos años en las neurociencias.

Manuel F. Casanova, MD
Professor of Biomedical Sciences
SmartState Endowed Chair in Childhood Neurotherapeutics
University of South Carolina School of Medicine
Greenville Health System

COLABORADORES

Acevedo, Carlos A. MD. Neurocirujano
Profesor titular Departamento de Cirugía
Sección de Neurocirugía
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Angulo G., Eduardo. MD.
Docente asistente Departamento de Biología
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Caldas

Arango D., César A. MD. Ph.D.
Sección de Psiquiatría
Fundación Valle del Lili, Cali

Ayala P., Jaime O. MSc.
Profesor auxiliar
Departamento de Ciencias Básicas Médicas
Facultad de Salud
Universidad Industrial de Santander (UIS)

Becerra, Lina Vanessa. MD. MSc.
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Buriticá, Efraín. Ph.D.
Profesor asistente
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Cano, Agustina. MSc.
Instituto Mexicano de Psiquiatría

Castro, Inés. M.D. Neurorradióloga
DIME Clínica Neurocardiovascular, Cali

Cruz Z., Santiago. MD. Neuropediatra
Fundación Valle del Lili
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Profesor *ad honorem* Dpto. de Pediatría
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Erhman O., Jorge E. MD. Patólogo
Profesor asociado Departamento de Patología
Facultad de Salud
Universidad del Valle

González, Carlos A. MSc
Especialista en Neuropsicología Infantil
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Hernández L., Delia C. MD. Psiquiatra
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Isaza de L., Carolina. MD. MSc.
Profesor titular Departamento de Morfología
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Levy, Arnoldo. MD. Neurocirujano
Profesor asociado
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Martínez, María J. MD. Neurocirujana
Hospital Psiquiátrico San Isidro, Cali

Martínez, Soffy. Psicóloga Clínica
Profesor asociado Departamento de Psiquiatría
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Mejía, Carlos. MSc.
Profesor titular Departamento de
Estomatología
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Ondarza-Rovira, Rodolfo. MD. Neurocirujano
División de Neurocirugía
Instituto Nacional de Neurología y
Neurocirugía Manuel Velasco Suárez
México, D.F.

Ortíz, José. Ph.D.
Profesor asociado
Departamento de Farmacología
Universidad de Puerto Rico

Palacios, Mauricio. MD. Ph.D
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Palomino, Julio C. MD. Neurocirujano
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Pedroza, Alfredo. MD. Neurocirujano
Profesor auxiliar
Departamento de Neurocirugía
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Quevedo, Jaime. MD. Neuropediatra
Profesor titular
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Rocha, Luisa. MD. Ph.D.
Investigadora asociada
Instituto Mexicano de Psiquiatría

Sánchez, Julio C. MD. Ph.D.
Profesor auxiliar
Departamento de Ciencias Básicas
Facultad de Medicina
Universidad Tecnológica de Pereira

Téllez, Henry. MD. Neurólogo
Profesor asociado Departamento
de Medicina Interna
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Umbarila, John. Ph.D.
Centro de Estudios Cerebrales (CEC)
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Velásquez, Miguel. MD. Neurocirujano
Profesor auxiliar
Departamento de Neurocirugía
Facultad de Salud
Universidad del Valle

Zanninovic, Vladimir. MD. Neurólogo
Profesor titular Departamento
de Medicina Interna
Facultad de Salud
Universidad del Valle

CONTENIDO

Capítulo 1.	Organización general del sistema nervioso	
	<i>Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta</i>	23
Capítulo 2.	Neurohistología I: compartimientos, barrera hematoencefálica y células gliales	
	<i>Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta</i>	
	Generalidades	29
	Compartimiento vascular y barrera hematoencefálica	32
	Compartimiento glial	33
	Medio intercelular	34
	Células gliales	35
Capítulo 3.	Neurohistología II: neurona y Sinapsis	
	<i>Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta</i>	
	Definición	43
	Citología	43
	Clasificación de las neuronas	49
Capítulo 4.	Neurotransmisores: generalidades, consideraciones farmacológicas	
	<i>Martha I. Escobar, José Ortiz, Mauricio Palacios</i>	57
	Neurotransmisores aminoacídicos	58
	Monoaminas	59
	Otras Aminas	60
	Neuromoduladores	60
	Otras Sustancias	63
	Consideraciones farmacológicas	65
Capítulo 5.	Topografía de los hemisferios cerebrales	
	<i>Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta</i>	
	Generalidades	69
	Superficie superolateral	70
	Superficie medial	72
	Base	73

Capítulo 6. Estructura interna de los hemisferios cerebrales

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta,

Carlos A. González, Inés Castro

Ventrículos cerebrales y estructuras grises y blancas relacionadas	77
Secciones horizontales y coronales	82
Sustancia blanca de los hemisferios	86

Capítulo 7. Corteza cerebral

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta, Jonh Umbarila

Generalidades	99
Tipos celulares	101
Aferencias y eferencias	106
Organización modular de la corteza	109

Capítulo 8. Áreas corticales

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	119
Áreas del lóbulo frontal	122
Áreas del lóbulo parietal	126
Áreas del lóbulo temporal	127
Áreas del lóbulo occipital	128

Capítulo 9. Tálamo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	139
Núcleos talámicos	140
Región anterior	143
Región lateral	145

Capítulo 10. Núcleos de la base

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	153
Anatomía	154
Histología	159
Conexiones	160

Capítulo 11. Sistema gabaérgico

Julio Palomino, Efraín Buriticá, Hernán J. Pimienta

Síntesis y metabolismo de gaba	175
Receptores gabaérgicos	176
Características-localización y distribución de la células gabaérgicas	178
Sistema gabaérgico neocortical	180
Tipos de neuronas y conectividad en la neocorteza	181
Neuronas gabaérgicas y plasticidad	183

Capítulo 12. Neuronas glutamatérgicas y excitotoxicidad

Jaime Ayala P., Júlío C. Sánchez, Mauricio Palacios,

Jaime Quevedo, Martha I. Escobar, Santiago Cruz Z. 185

Neuronas glutamatérgicas 186

Receptores de glutamato 186

Receptores ionotróficos 187

Receptor Nmda 187

Receptor Ampa 188

Receptor Kainato 188

Receptores metabotróficos 189

Mecanismo de recaptura 189

Glutamato y excitotoxicidad 190

Inducción de apoptosis 191

Capítulo 13. Estructuras límbicas

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta, Delia C. Hernández

Generalidades 195

Hipocampo 196

Anatomía e histología 198

Conexiones 200

Corteza entorrinal 203

Giro cíngulo 204

Conexiones 206

Amígdala 207

Conexiones 208

Sistema olfatorio 211

Aspectos funcionales 212

Capítulo 14. Hipotálamo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades 219

Región medial 224

Región mamilar 227

Región lateral 227

Capítulo 15. Estructura externa del tallo cerebral

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades 231

Superficie anterior 234

Superficie posterior 235

Capítulo 16. Estructura interna del mesencéfalo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta,

Inés Castro, Carlos A. González

Nivel colículos superiores 239

Nivel colículos inferiores 242

Organización y conexiones 244

Capítulo 17. Estructura interna de la protuberancia y formación reticular

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta,

Inés Castro, Carlos A. González

Generalidades	253
Nivel tercio superior	254
Nivel núcleo motor del V par	256
Nivel colículos faciales	258
Organización y conexiones	260

Capítulo 18. Estructura interna del bulbo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta,

Inés Castro, Carlos A. González

Nivel oliva inferior	269
Nivel decusación sensitiva	272
Nivel decusación piramidal	274
Organización y conexiones	276

Capítulo 19. Sistemas de fibras del tallo cerebral

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	281
Fascículos descendentes	283
Fascículos ascendentes	285
Fascículos bidireccionales	287

Capítulo 20. Sistema dopaminérgico

Eduardo Angulo G., Cesar A. Arango,

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta 289

Capítulo 21. Sistemas serotoninérgico y de la norepinefrina

Cesar A. Arango, Eduardo Angulo G.,

<i>Hernán J. Pimienta, Martha I. Escobar</i>	297
Sistema noradrenérgico	303

Capítulo 22. Pares craneales

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	309
Nervio oculomotor	311
Nervio troclear	313
Nervio abducente	313
Nervio trigémino	315
Nervio facial	318
Nervio glossofaríngeo	321
Nervio vago	323
Nervio accesorio	324
Nervio hipogloso	325

Capítulo 23. Cerebelo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	329
Sustancia gris	334
Pedúnculos cerebelosos	341

Capítulo 24. Médula espinal

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Anatomía	347
Sustancia gris	350
Sustancia blanca	354
Fascículos ascendentes de origen medular	356
Fascículos descendentes	357

Capítulo 25. Columna vertebral y estructuras nerviosas asociadas

Alfredo Pedroza

Columna vertebral	361
Ligamentos	366
Unidad funcional de la columna vertebral	369
Contenido de la columna vertebral	371
Patología degenerativa	375
Patología traumática	382

Capítulo 26. Sistemas sensitivos

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	389
Estructuras	391
Fibras aferentes	393
Vías sensitivas	397

Capítulo 27. Sistema motor

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta, Henry Téllez

Generalidades	405
Estructuras motoras y vías descendentes	406
Síndrome de neurona motora inferior	410
Síndrome de neurona motora superior	410
Alteraciones del sistema extrapiramidal	411

Capítulo 28. Sistema visual

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	413
Retina	415
Vía visual consciente y refleja	418

Capítulo 29. Sistema auditivo y vestibular

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta, Carlos Mejía

Oído	425
Vía auditiva	429
Vía vestibular	430

Capítulo 30. Sistema autónomo

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Generalidades	435
Parasimpático	437
Simpático	440

Capítulo 31. Meninges

Martha I. Escobar, Hernán J. Pimienta

Membranas meningeas	443
Duramadre	443
Piamadre	446
Senos venosos	447

Capítulo 32. Circulación

Alfredo Pedroza

Circulación arterial	449
Sistema carotídeo	452
Sistema vertebrobasilar	457
Arterias perforantes	463
Circulación colateral.	463
Circulación venosa.	464
Venas cerebrales	468
Correlación anatomo-patológica.	468
Síndromes clínicos.	470
Estudio y tratamiento de la isquemia cerebral	472
Hemorragia intracraneana	477

Capítulo 33. Embriología del sistema nervioso

Carolina Isaza de L.

Fases iniciales del desarrollo	487
Prosencéfalo	494

Capítulo 34. Neurocorticogénesis

Martha I. Escobar, Jaime Quevedo

Diferenciación celular	505
Factores relacionados con el desarrollo y la plasticidad	507

Índice	511
-------------------------	------------

CAPÍTULO I

ORGANIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO

Martha I. Escobar • Hernán J. Pimienta

El sistema nervioso está formado por un conjunto de estructuras centrales y periféricas interconectadas, que constituyen una unidad indivisible; a través de los nervios periféricos, se extiende por todo el organismo influyendo de manera directa sobre los demás sistemas, recogiendo los estímulos o promoviendo acciones. Sus estructuras más distales son los receptores, estos responden a estímulos externos e internos que convierten en señales eléctricas, las cuales a través de los nervios periféricos se conducen a estructuras más complejas pertenecientes al sistema nervioso central.

El sistema nervioso controla los movimientos por la acción de nervios periféricos motores sobre los músculos. En las estructuras centrales se pueden identificar sectores sensitivos, centros motores y centros asociativos.

La conexión directa entre centros sensitivos y motores garantiza el acople entre los estímulos y las respuestas, estas son fundamentalmente reflejas y en general predecibles. Los centros asociativos incrementan las posibilidades y la flexibilidad en la respuesta, dado que pueden manipular la información de los centros sensitivos y atenuar, ampliar o aplazar las respuestas motoras de acuerdo con el contexto. En los sistemas nerviosos complejos como el del humano, los centros asociativos predominan en volumen y en el número de conexiones, por lo tanto se pueden generar respuestas en ausencia de estímulos, como pensamientos, intenciones etc. A partir del aprendizaje acumulado en los centros asociativos emerge la capacidad de predicción,

que le permite al individuo anticiparse a las acciones de los otros. En resumen los centros asociativos son responsables de las funciones mas complejas del sistema nervioso como la conciencia, la memoria, el lenguaje, la empatía, el afecto, la concepción de nuestro propio cuerpo, del entorno, del carácter y de nuestra individualidad.

Desde el punto de vista estructural, además de las células gliales y de los vasos sanguíneos,

el sistema nervioso está constituido por redes neuronales, que por medio de sus conexiones, se comunican entre sí y con los efectores (músculo esquelético, músculo liso y glándulas). En algunos casos, las neuronas establecen circuitos a distancia que enlazan un sector del sistema con otro o con los efectores. En otros, su acción se ejerce de manera local, generalmente modificando la acción de las neuronas que se proyectan a otras estructuras.

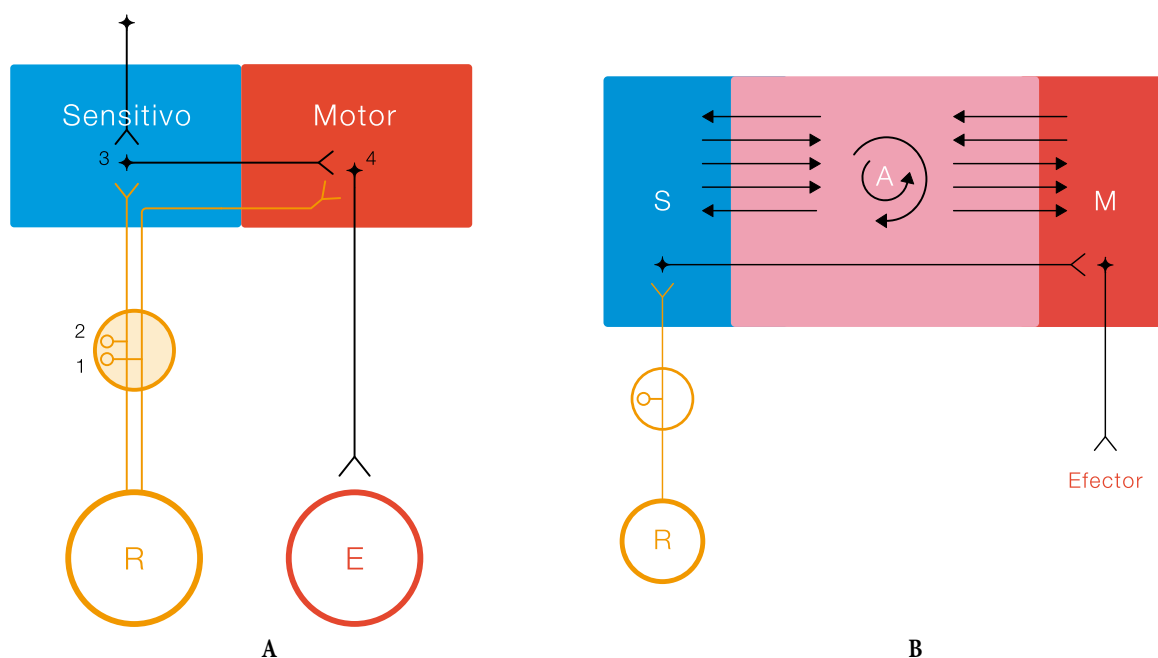


Fig. 1

A y B

En el esquema 1A se muestra la organización mas simple del sistema nervioso de un vertebrado, en el que se representa lo sensitivo (azul) y lo motor (rojo). De color naranja se ilustra un ganglio sensitivo periférico cuyas neuronas poseen prolongaciones que alcanzan receptores sensoriales en las diferentes estructuras del cuerpo (piel, articulaciones, vísceras etc). Las prolongaciones centrales de las neuronas del ganglio (1) pueden alcanzar directamente a neuronas motoras (4) o (2) transferir su información a las neuronas sensitivas (3), que a su vez pueden proyectar esta información a las neuronas motoras, las cuales dan lugar a fibras que terminan en los efectores. Alternativamente, una neurona sensorial central puede dar lugar a fibras ascendentes que terminan en centros superiores, donde mas que una respuesta motora refleja se adquiere una experiencia que puede ser consciente. Esta condición no se representa en la figura. 1B (derecha) se agrega en la imagen el componente asociativo (rosado). En este se presentan interacciones entre redes de neuronas centrales que pueden amplificar, atenuar o integrar diferentes estímulos, dando lugar a procesos de aprendizaje. Las interacciones sensorio asociativo motoras son importante sustrato para adquirir destreza motora, percepciones complejas, pensamiento y creatividad. En los primates no humanos y en el humano los procesos de integración o asociativos superan ampliamente a la simple integración sensorio-motora. De manera sencilla se ilustra mostrando en el diagrama B una mayor área para representar lo asociativo Vs lo motor o lo sensorial. El esquema de organización representado en A y en B ocurre a lo largo del sistema nervioso y los límites entre uno y otro no son fáciles de reconocer.

En la Figura 1 se muestra un modelo elemental de las relaciones de los componentes periféricos y centrales del sistema nervioso. En la figura de la izquierda se señala el esquema más simple de organización, en el cual los elementos mínimos que se requieren son: un receptor unido a una neurona sensitiva o aferente, que de manera directa o indirecta se comunica con una neurona motora, la cual da lugar a una fibra eferente, relacionada con un efector. Este esquema de organización se considera primitivo, pero se preserva en el humano y da cuenta de las respuestas reflejas. En la figura de la derecha, además de los componentes sensitivo S y motor M, unidos a los receptores y efectores respectivamente, se indica el componente asociativo A. Las interconexiones entre éste y los centros sensitivos y motores pueden determinar respuestas más complejas e impredecibles.

De acuerdo con lo anterior, al analizar un sector del sistema nervioso encontraremos al menos tres elementos: a) fibras aferentes, b) interneuronas y c) neuronas eferentes, principales o de proyección. Las fibras aferentes pueden ser sensitivas periféricas o proceder de otros sectores del sistema nervioso central; las interneuronas pueden recibir las aferentes, comunicarse entre sí o conectar células principales, cuyo axón abandona el sector e influye en otros niveles del neuroeje o sobre los efectores. En muchos casos las aferentes pueden conectar directamente a las neuronas principales. Considerando lo anterior, la actividad de un sector del sistema nervioso depende de la interacción de los tres componentes: entradas, interacciones locales y células eferentes. Las relaciones entre los elementos se establecen a través de los contactos sinápticos, que pueden ser inhibitorios, excitatorios o modulatorios. En general, para cada sector el aporte de fibras aferentes (entradas) y de interacciones de circuitos

locales sobrepasa cuantitativamente al de fibras eferentes.

Como hemos señalado, el sistema nervioso es una unidad y se ha sectorizado atendiendo a criterios filogenéticos y anatómicos, cuyos límites pueden ser imprecisos. Recordemos que se trata de estructuras interconectadas y que las aferentes a un lugar se hacen parte integral del mismo, aunque los cuerpos celulares que les dan origen estén alejados. Sin embargo, esta parcelación es aconsejable con propósitos descriptivos.

La clasificación más general define el sistema nervioso central y el periférico.



El sistema nervioso central da origen a los nervios motores que terminan en los efectores y recibe las fibras que conducen los estímulos, recogidos por los receptores generales y especiales.

El encéfalo se subdivide macroscópicamente en sentido cefalo-caudal como se indica en el cuadro sinóptico y en la Figura 2. Sin embargo, elementos de una y otra división están relacionados por los sistemas de fibras.

El bulbo se continúa con la médula espinal que se extiende por el canal vertebral hasta el nivel de la segunda vértebra lumbar (LII).

La médula espinal está dividida en segmentos cervicales, torácicos, lumbares, sacros y coccígeos.



El telencéfalo corresponde a la mayor parte del volumen del sistema nervioso central, de manera general se le relaciona con la actividad consciente sensitiva y motora planificada y voluntaria, y con las funciones mentales superiores, entre ellas, pensamiento, lenguaje, planeación, motivación y en general con la conciencia. El tálamo es un centro de integración sensitiva, motora y de relevo hacia la corteza cerebral, con la cual mantiene extensas conexiones recíprocas. El hipotálamo pertenece al sistema neuroendocrino y tiene influencias sobre el control hormonal y la actividad visceral. El subtálamo se relaciona con el sistema motor y presenta amplias conexiones con los núcleos de la base. El epitálamo es reducido en el hombre, lo conforman la habénula y la glándula

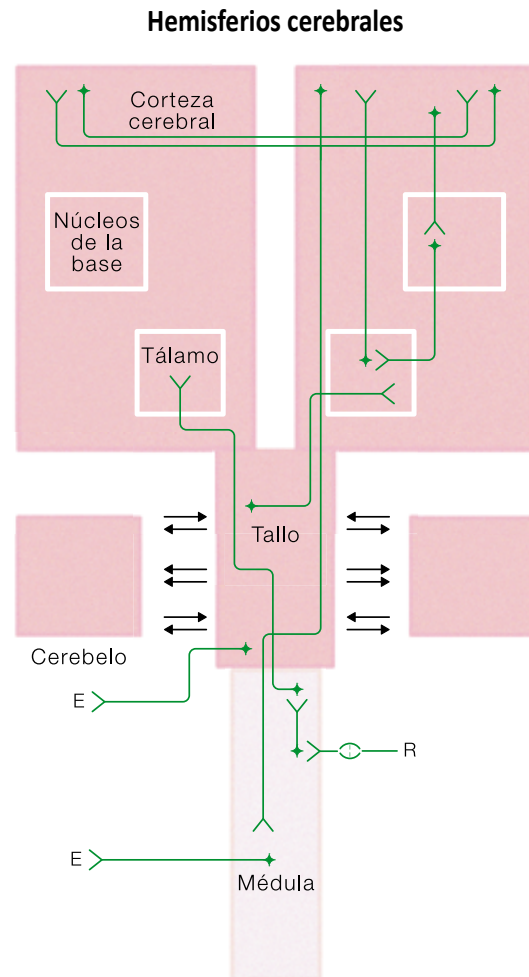
pineal, se le vincula con la producción de melatonina y la regulación de los ritmos circadianos, aunque en esta última función participan otras estructuras como el hipotálamo. El tallo cerebral se asocia con los nervios craneales (III al XII), da paso a vías sensitivas y motoras y canaliza actividades relacionadas con la masticación, la deglución, la lacrimación y con el control cardiorrespiratorio, entre otras. El cerebelo se interconecta con el tallo cerebral, influye sobre el equilibrio, la postura y la coordinación motora. La médula espinal se relaciona con los nervios espinales, conduce hacia centros superiores las sensaciones del cuerpo, da paso a las vías motoras y contiene centros autonómicos. De ella dependen los reflejos extensor y flexor que comprometen la musculatura del cuerpo.

Otra forma de dividir al sistema nervioso se fundamenta en los tipos de acciones que ejerce, así el control de la actividad de la musculatura esquelética depende del sistema nervioso somático o voluntario y responde por los movimientos intencionados; también incluye los reflejos espinales y craneales. Por su parte, el control de la actividad visceral depende del sistema nervioso autónomo o vegetativo y en él se distinguen dos divisiones: parasimpático (cráneo-sacro) y simpático (toraco-lumbar).

Otra manera de sistematizar el sistema nervioso atiende a criterios funcionales e identifica los subsistemas sensitivo, motor, asociativo, autónomo y límbico. De nuevo, los límites anatómicos entre éstos son imprecisos y arbitrarios.

Fig. 2

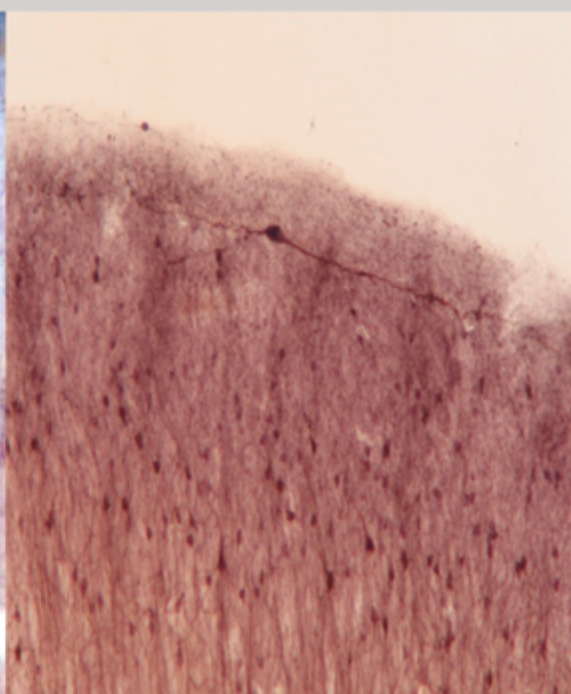
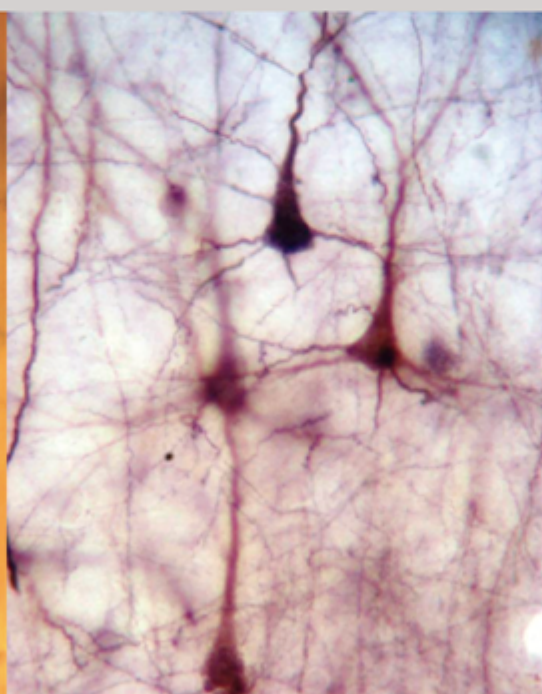
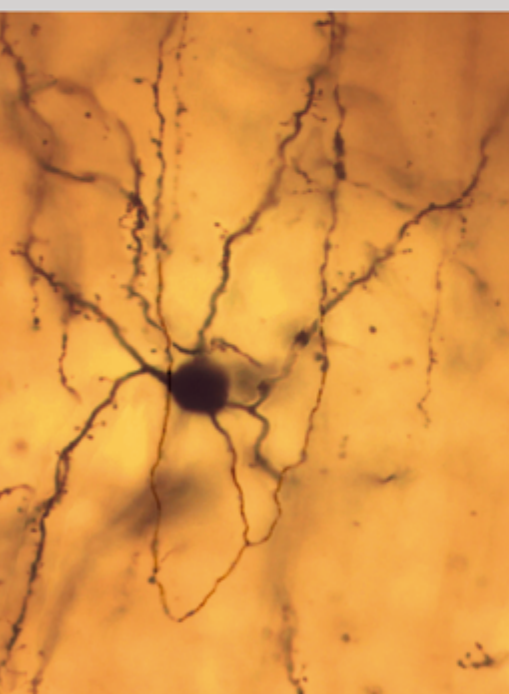
Componentes del sistema nervioso central y periférico, según la parcelación que se establece en el cuadro sinóptico descrito previamente.



Lectura sugerida

- Armstrong E. 1990. *Evolution of the Brain in the human nervous system*. Ed. by George Paxinos. Academic Press Inc. pp. 8-15.
- De Felipe J. 2011. "The evolution of the brain, the human nature of cortical circuits, and intellectual creativity". *Front Neuroanat*. 5: 29. doi: 10.3389/fnana.2011.00029
- Hofman M. A. 2014. "Evolution of the human brain: when bigger is better". *Front Neuroanat*. 8: 15. doi: 10.3389/fnana.2014.00015.

- Kusawa C. W. 2014. Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development". *PNAS*. 111(36): 13010-13015.
- Llinas R. R. 2001. *I of the vortex: from neurons to self*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Schoenemann P. T. 2006. "Evolution of the size and functional areas of the human brain". *Annu Rev Antropol*. 35: 379-406.



CAPÍTULO 2

NEUROHISTOLOGÍA I: COMPARTIMIENTOS, BARRERA HEMATOENCEFÁLICA Y CÉLULAS GLIALES

Martha I. Escobar • Hernán J. Pimienta

GENERALIDADES

En el tejido nervioso se reconocen células, fibras, medio intercelular y vasos sanguíneos. Estos elementos aunque constituyen una unidad hacen parte de tres compartimientos: vascular, glial y neuronal.

Las células del tejido nervioso pertenecen a tres categorías *neuronas*, *células gliales* y *células endoteliales*. Las *neuronas* son las unidades morfofuncionales del tejido nervioso, reciben, transmiten y almacenan información. Las células *gliales*, guardan estrecha relación con las neuronas se localizan en todos los sectores del tejido y son las más abundantes, por su parte, las células *endoteliales* constituyen un epitelio que recubre la superficie interna de las cavidades ventriculares y el canal endotelial de la médula espinal.

Las fibras en el sistema nervioso corresponden a extensiones de las células gliales y de las neuronas. Éstas irradian del soma y forman complejas interacciones entre ellas, reduciendo el medio intercelular. En algunos casos recorren grandes extensiones como ocurre con el axón de algunas neuronas.

Las células nerviosas poseen un metabolismo muy activo dependiente del continuo suministro a través de la circulación de oxígeno y glucosa. Estas necesidades se suplen gracias al alto grado de vascularización del tejido.



*Diversidad celular de la
corteza cerebral*

El estudio del tejido nervioso puede hacerse de diferentes maneras; una de ellas es la observación macroscópica directa. En este caso al remover un sector del cráneo o del canal vertebral de un animal experimental o de un cadáver, se aprecian las membranas meníngeas que cubren el tejido nervioso y se identifica el espacio subaracnoideo (Figura 1); éste es continuo a lo largo del eje encefalomedular y contiene el líquido cefalorraquídeo, donde prácticamente flota el encéfalo y la médula espinal. Luego, al seccio-

nar el tejido se observan dos regiones: una gris, que puede corresponder a una capa superficial o constituir una masa de localización profunda, y una blanca, más extensa que la anterior.

Si se practican secciones más finas de tejido, se tiñen con el método de Golgi que utiliza dicromato de potasio y nitrato de plata y se observan al microscopio de luz o electrónico, se aprecia la naturaleza celular de la sustancia gris y el predominio de fibras en la sustancia blanca (Figura 2A y B).

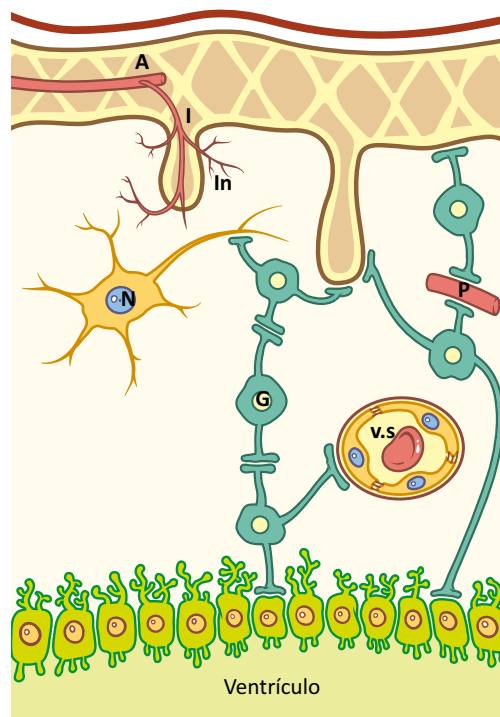
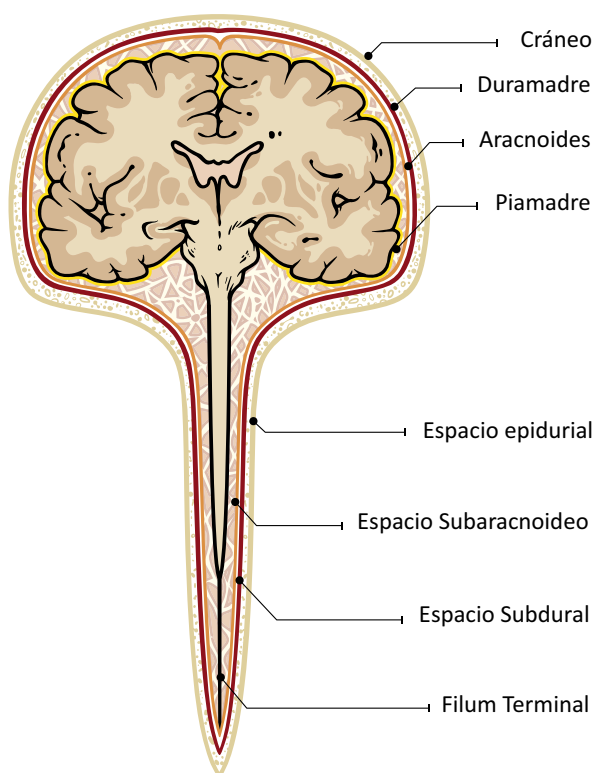


Fig. 1

Se muestra esquemáticamente el sistema nervioso central luego de practicar una sección coronal que involucra a la cavidad craneal y al canal vertebral. El tejido nervioso está rodeado por las membranas meníngeas, duramadre, aracnoides y piamadre. El espacio subaracnoideo está ocupado por el líquido cefalorraquídeo que baña la superficie del encéfalo y de la médula espinal y ocupa las cavidades ventriculares. En el recuadro se indican los diferentes compartimientos que constituyen el tejido nervioso. Se aprecia la red vascular perineural (P), interneural (I), e intraneural (In). Esta última da lugar a capilares los cuales están rodeados por los procesos de los astrocitos. El conjunto de astrocitos constituyen una red interconectada que ocupa la mayor parte del parénquima del tejido nervioso y se interpone entre las neuronas y los vasos sanguíneos. Observe que los astrocitos además envían extensiones hacia las células endoteliales y hacia la superficie del tejido nervioso. Las células endoteliales tapizan la cavidad ventricular. El líquido intercelular se comunica con el líquido cefalorraquídeo. G: glía, V.S: vaso sanguíneo, N: neurona.