

B Neuroanatomía

1	Introducción a la neuroanatomía	266
2	Histología de las células nerviosas y gliales	292
3	Sistema nervioso vegetativo	296
4	Meninges craneales y medulares	306
5	Espacios de circulación del líquido cefalorraquídeo	312
6	Telencéfalo	320
7	Diencefalo	338
8	Tronco del encéfalo	354
9	Cerebelo	366
10	Vasos sanguíneos del encéfalo	374
11	Médula espinal y sus vasos sanguíneos	394
12	Anatomía seccional del encéfalo	420
13	Sistemas funcionales y relaciones clínicas	444

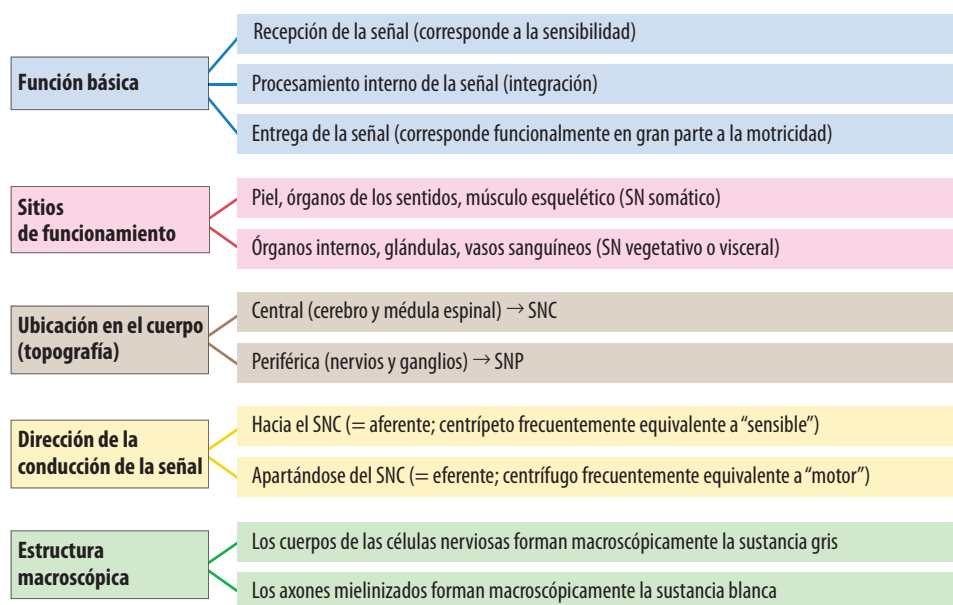
1.1 División y funciones básicas del sistema nervioso

Introducción

El sistema nervioso del hombre es el sistema de órganos más complejo que hasta ahora apareció en la evolución de la vida terrestre. Su función consiste en registrar situaciones de su entorno, reconocer sus cambios, y reaccionar frente a estas con sentido, con ayuda de otros sistemas de órganos. «Con sentido» significa asegurar la supervivencia de este sistema nervioso incluyendo a su «organismo portador». El sistema nervioso es asimismo el único sistema de órganos conocido por nosotros, que puede establecer contacto con «sus semejantes» de manera refleja y consciente. Esta complejidad y el aspecto del autorreconocimiento hacen que el sistema nervioso sea un objeto especialmente difícil de observar, pero también justifican su fascinación.

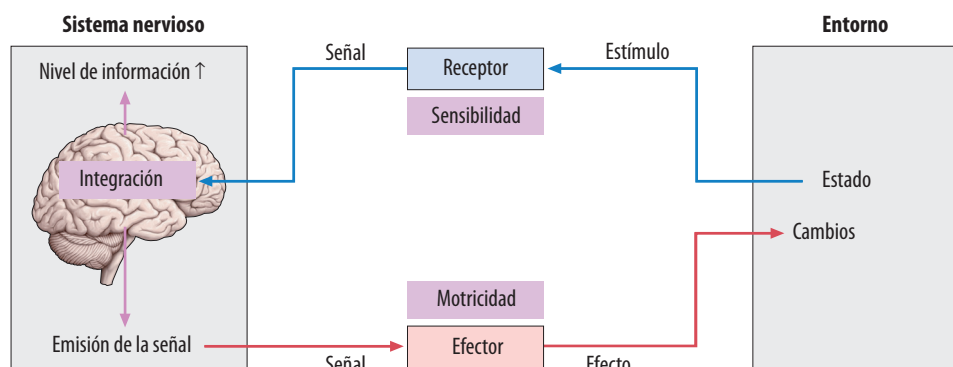
Así solo la lectura de estas líneas significa que el sistema nervioso de una persona —especialmente su cerebro— comienza a proporcionarse conocimientos de sí mismo.

El sistema nervioso del hombre dispone, en comparación con el de los animales, en gran medida de capacidades como el aprendizaje, la memoria, la proyección intelectual a futuro, el autorreconocimiento —mediante un lenguaje complejo— y la comunicación con el sistema nervioso de otro individuo. Las enfermedades del sistema nervioso pueden perjudicar en gran medida la vida del paciente afectado. Los conocimientos profundos de la estructura y la función del sistema nervioso son por lo tanto la base para evitar o tratar sus enfermedades y con esto una parte fundamental de la actuación médica.



A División del sistema nervioso: visión general

El sistema nervioso se puede clasificar según criterios completamente diferentes. Justo esta diversidad de posibilidades de clasificación hace que la comprensión general del sistema nervioso inicialmente parezca difícil. Además, cada división es artificial y solo tiene en cuenta determinados aspectos específicos. Innumerables relaciones del sistema nervioso sin embargo se pueden entender y derivar mucho mejor conociendo estas divisiones, sin tener que aprender cada una de memoria. En este lugar se representa por consiguiente la clasificación del sistema nervioso teniendo en cuenta cinco aspectos diferentes, cada aspecto se explica en las figuras siguientes.



B Funciones básicas del sistema nervioso

El sistema nervioso es —hablando de manera simplificada— un sistema de procesamiento de información. Se comunica incesantemente con su entorno. Los conceptos centrales aquí son:

- **Sensibilidad** (también *sensorio* o *percepción de los sentidos*): el sistema nervioso obtiene ininterrumpidamente informaciones acerca del estado de su entorno, en general a través de estímulos físicos o químicos. Estas informaciones las

- registra mediante receptores especiales de estímulos,
- las transforma en una señal (generalmente eléctrica) y
- las conduce como tales al sistema por el sistema nervioso.

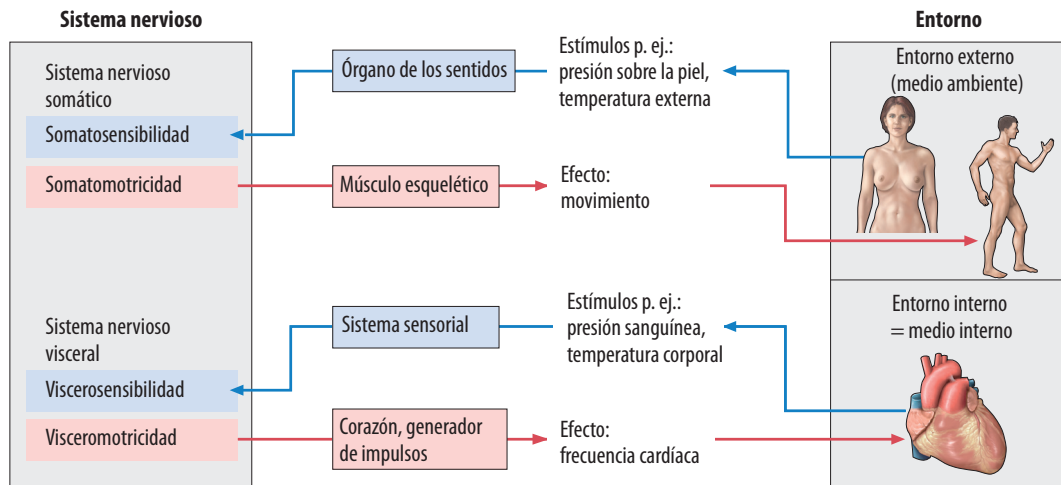
- **Integración:** la información codificada como una señal eléctrica:
 - es procesada por el sistema nervioso dentro de estructuras especiales, extremadamente

complejas, de manera muy diferenciada, generalmente también por vía eléctrica, y — conducida a los den. efectores.

- **Motricidad:** los efectores ahora pueden lograr un *efecto* sobre su entorno.

Observe: Los términos sensibilidad, integración, y motricidad, son adecuados para describir en esencia las funciones básicas del SNC. Esto no significa que cada efecto producido por el SNC necesariamente se adjudique a la motricidad o que la integración siempre signifique «pasar la señal a un efector». También el aumento del nivel de información dentro del sistema nervioso (por ejemplo la formación «interna» de contenidos de la memoria, la «formación de ideas») es un proceso integrador, y también la liberación de hormonas es un efecto que puede ser desencadenado por el SNC.

El sinnúmero y la complejidad de los estímulos especiales del entorno llevaron a que los receptores, que están especializados para registrar determinados estímulos, se reúnan en grupos funcionales, los *órganos de los sentidos*.



C Clasificación funcional del sistema nervioso

La clasificación según la función (*división funcional*) o según la ubicación (*división topográfica*, v. **D**) de las estructuras especiales del sistema nervioso probó su eficacia en muchos aspectos médicos. Ambas clasificaciones, sin embargo, solo tienen en cuenta aspectos específicos: coincidencias entre las clasificaciones son por lo tanto la regla, no la excepción. La subdivisión es por lo tanto en cierta medida artificial. Si se retoman los términos sensibilidad y motricidad nombrados en **B**, también tiene sentido precisar el término «entorno». Este es:

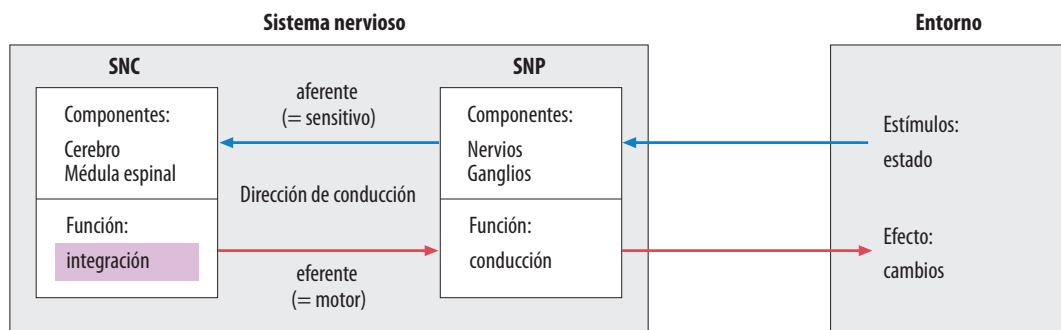
- el «entorno externo», o sea lo que rodea a todo el organismo y
- el den. «medio interno», el interior del cuerpo, con el que también se comunica el sistema nervioso y cuyo estado, dentro de ciertos límites estrechos, se debe mantener permanentemente en equilibrio biológico.

El contacto físico con el *entorno externo* se produce mediante la percepción de los *sentidos* (sensibilidad), a través de la piel y los *órganos de los sentidos*; el efecto físico sobre el entorno, típicamente a través del sistema muscular del

aparato locomotor del cuerpo (cuerpo = *soma*). Todo este aspecto funcional está representado por el den. sistema nervioso *somático*. La regulación del «medio interno» ocurre a través de *órganos (visceras)*, con los que el sistema nervioso intercambia información. La porción del sistema nervioso que está en contacto directo con los *órganos*, se denomina sistema nervioso visceral. Si se combinan ahora la función (sensibilidad, motricidad) con el «sitio efector» (somático, visceral) entre sí, entonces resultan:

- para la interacción con el entorno externo los términos somatomotricidad (v. pág. 286) y somatosensibilidad (v. pág. 284),
- para la interacción entre el medio interno (= el «entorno interno») los términos visceromotricidad y viscerosensibilidad.

Observe: También para la viscerosensibilidad hay naturalmente receptores; estos sin embargo normalmente no se reúnen en *órganos sensitivos propios*. Para el sistema nervioso visceral también son corrientes los términos sistema nervioso «autónomo» o «vegetativo» (v. pág. 296).



D División topográfica y conducción de señales

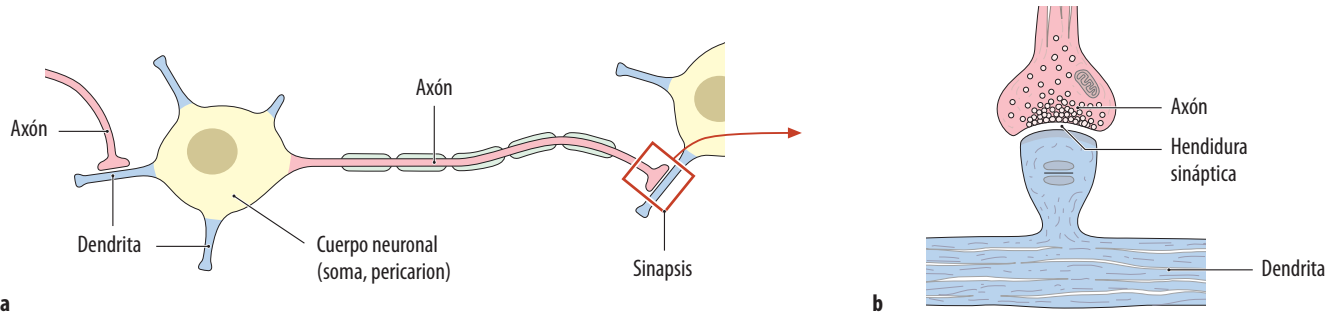
Todo el sistema nervioso se puede dividir –completamente independiente de las funciones– según la ubicación dentro del cuerpo en:

- el sistema nervioso central (SNC) y el
- sistema nervioso periférico (SNP).

Observe: Tanto el SNC como el SNP tienen partes del sistema nervioso somático y visceral. El SNC comprende el cerebro y la médula espinal, ambos situados en espacios rodeados por hueso. El SNP comprende los nervios y los ganglios

(pág. 269), que están situados fuera del SNC y que están rodeados por una vaina de tejido conectivo. A excepción de algunas pocas limitaciones se puede decir que el SNP sirve funcionalmente como *conductor* de las señales y por lo tanto es el «mediador» entre el SNC y el entorno externo (o el medio interno), y entre el SNC y el efector. En el SNC en cambio se encuentra en primer plano la *integración*. Ante una función de mediación de este tipo del SNP, la *dirección* de la conducción de las señales tiene un rol especial: conducción de la señal hacia el SNC (= *centrípeta*) –funcionalmente la sensibilidad– se considera como *conducción aferente*; conducción desde el SNC (= *centrífuga*) –funcionalmente la motricidad– es la *conducción eferente*.

1.2 Células, transmisión de la señal y estructura morfológica del sistema nervioso



A Célula nerviosa y sinapsis

a Célula nerviosa: el elemento estructural basal del sistema nervioso es morfológicamente y funcionalmente la célula nerviosa (= la neurona). Cómo las células nerviosas aparecen tanto en el SNC como en el SNP se habla de neuronas *centrales* y *periféricas*. Las células nerviosas originan señales eléctricas –den *potenciales de acción*– y las conducen hacia otras células (por ejemplo a otras neuronas pero también a células musculares). Según su forma y función se diferencian numerosos tipos de células nerviosas, su estructura sin embargo es en principio igual: en el *cuerpo* (= *pericarion*) de la célula nerviosa, se encuentran por lo menos dos prolongaciones de diferente longitud:

- La dendrita (dendron = árbol), que generalmente es corta y frecuentemente está ramificada; una neurona puede tener una o varias dendritas;
- El axón (= la neurita), que generalmente es más largo que las dendritas; una neurona siempre posee un solo axón (que sin embargo puede estar ramificado).

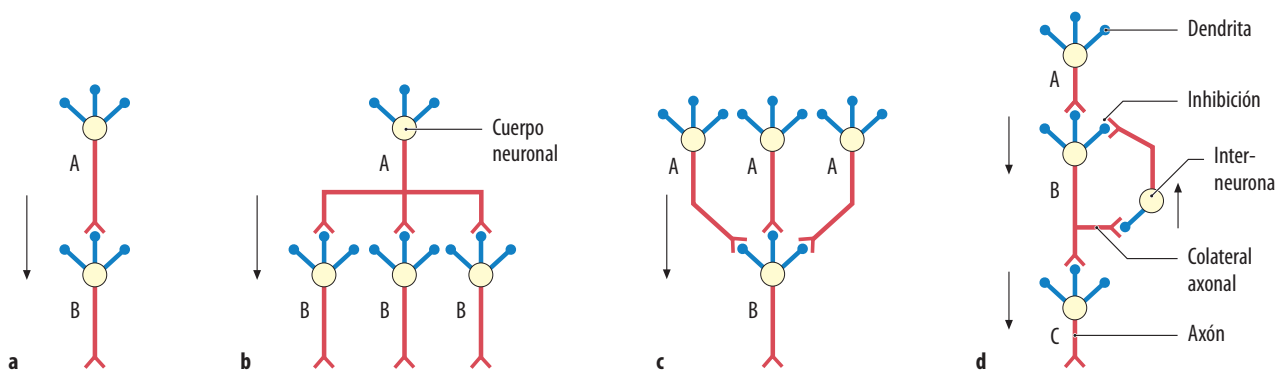
La dendrita y el axón se encuentran típicamente en los extremos opuestos del cuerpo neuronal. Así se origina una «polarización» estructural, que se corresponde con la *polarización* funcional de la neurona (v. A, pág. 292): la conducción de una señal eléctrica se produce desde la dendrita hacia el cuerpo neuronal,

en el axón siempre se aleja del cuerpo neuronal. De manera simplificada se puede hablar de *entrada* y *salida* de la señal.

Esto no se modifica cuando una célula nerviosa posee numerosas dendritas, de las cuáles algunas (vistas netamente desde un punto de vista morfológico) no están «enfrentadas» al axón: la conducción aquí también se produce desde la dendrita, a través del cuerpo neuronal, hacia el axón.

b Sinapsis: las neuronas nunca están funcionalmente «solas»: siempre están conectadas en grupos y conducen señales eléctricas. El intercambio de señales se produce a través de sitios especiales de contacto, las *sinapsis*. En una sinapsis el axón de una neurona toma contacto con otra célula nerviosa. Llama la atención que este contacto, en la mayoría de los casos, es discontinuo: entre el axón y la célula nerviosa siguiente hay una hendidura (*hendidura sináptica*), en donde se produce la transmisión de la señal eléctrica por transformación en una señal química (un transmisor). Este transmisor genera habitualmente en la neurona que está «a continuación» nuevamente una señal eléctrica. El orden de la conducción de la señal es entonces: eléctrico químico eléctrico.

Observe: Funcionalmente se diferencian las *sinapsis excitatorias*, que estimulan la conducción de la señal, de las *sinapsis inhibitorias*, que dificultan o inhiben la conducción de la señal. El sistema nervioso produce así no solo excitación sino también inhibición (v. A, pág. 292).



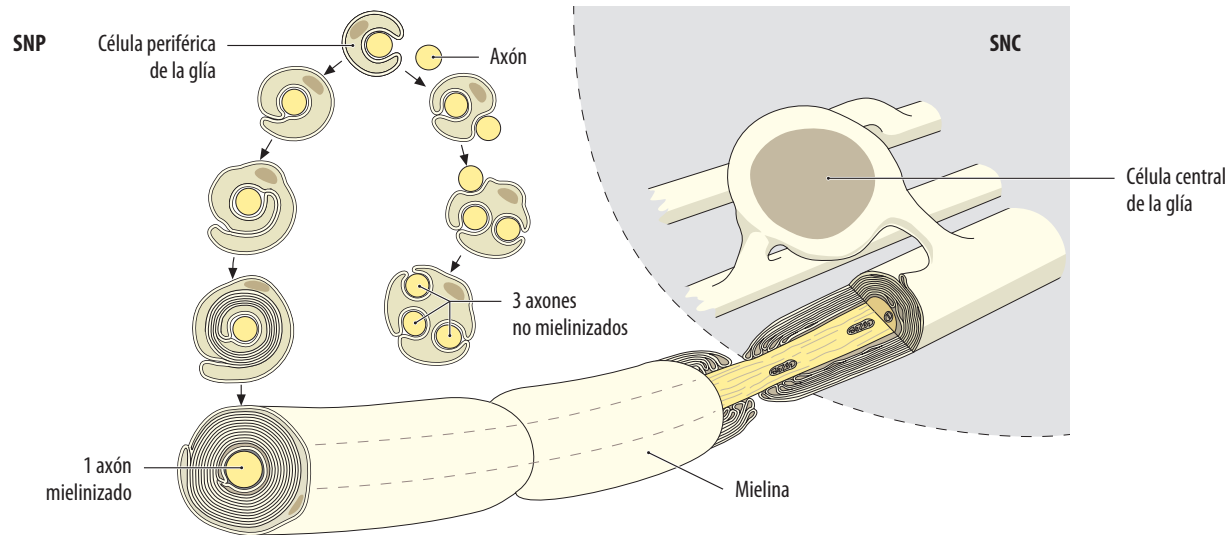
B Transmisión de la señal en el sistema nervioso: conexiones neuronales

Las células nerviosas están unidas de diferente manera en «asociaciones neuronales»:

- La neurona A envía su señal (= proyecta en) a la neurona B: la transmisión es 1:1;
- La neurona A envía su señal (por ramificación del axón) a varias neuronas B (aquí 3); la transmisión es 1:3. Existe una *divergencia*. De esta manera se amplifican las señales («efecto megáfono»);
- Varias neuronas A (aquí 3) proyectan sobre una neurona B, la transmisión es 3:1. Existe una *convergencia*. Se puede aprovechar para formar un *filtro* de información por ejemplo, la neurona B solo transmite la señal entrante si por lo menos dos neuronas A envían simultáneamente una señal a B (formación del *umbral* o *efecto de filtro*);

d Una célula nerviosa también puede estar conectada «con si misma» a través de una *interneurona*. Este es el caso típico de la *inhibición recurrente*. La célula nerviosa B es estimulada por una señal de A y conduce esta señal a C. A través de los den. colaterales axonales sin embargo B ahora inhibe la sinapsis A → B. Con esto, B estará por un intervalo de tiempo «sordo» frente a nuevas señales de la célula A. Se introduce un «filtro temporal»: recién después de que transcurrió un tiempo determinado, B vuelve a conducir las señales provenientes de A. Así se puede evitar que estímulos entrantes permanentes arrollen al sistema nervioso.

Sinapsis y conexiones, estimulación e inhibición son así términos funcionales importantes del sistema nervioso.



C Célula de la glía (neuroglía)

El segundo tipo de célula característica del sistema nervioso es la célula glial (neuroglía), que también está en el SNC y en el SNP (*glía central y periférica*). Las células gliales no generan señales, pero influyen de manera decisiva la velocidad con la cual son conducidas las señales en el sistema nervioso, mediante la formación de *vainas* que rodean a los axones de las células nerviosas. Los axones tienen entonces, según el desarrollo y la extensión de su vaina, diferentes denominaciones:

- **Axones mielinizados:** una célula glial «envuelve» en varias capas, a modo de láminas, a un único axón y forma así una estructura especial, la *den. mielina*;

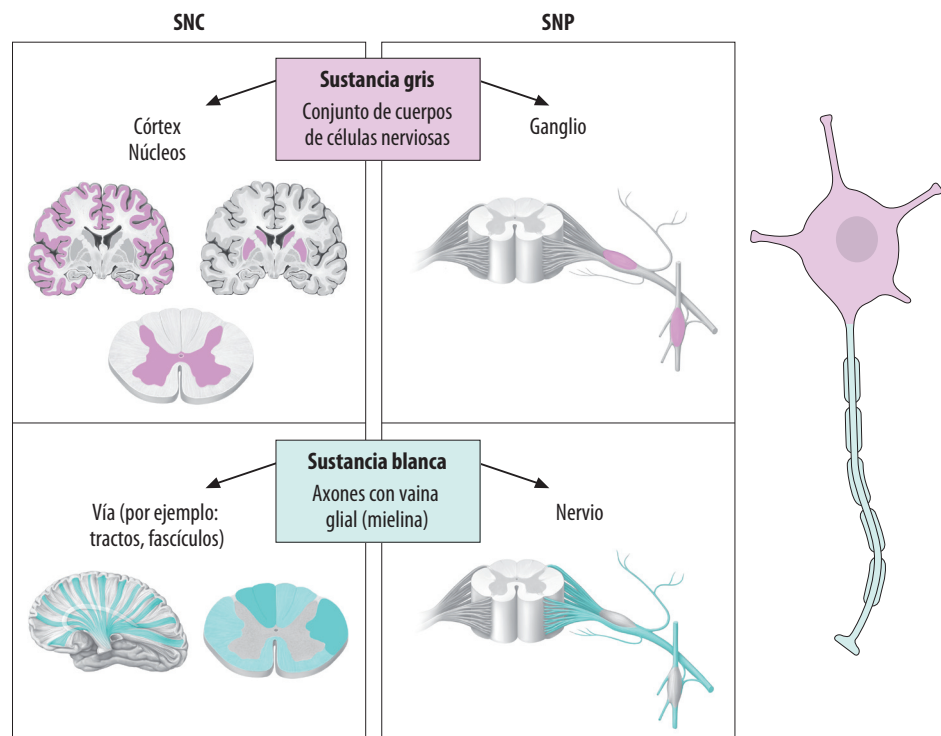
- **Axones no mielinizados:** una célula glial rodea a varios axones sin formar estructuralmente una vaina.

Los axones mielinizados son claramente la mayoría. Como el tipo de formación de la vaina influye en la velocidad de conducción de la señal eléctrica (los axones mielinizados conducen rápido), esta vaina es de gran importancia funcional para la neurona. Las células de la glía también apoyan la función de las neuronas en otro aspecto. Así desempeñan, entre otras cosas, un rol en la regulación del medio que rodea al sistema nervioso (por ejemplo, barrera hematoencefálica) y en la defensa ante influencias nocivas.

Observe: Axón + vaina glial (mielinizada o no mielinizada) = fibra (= *neurofibra*). Este término es muy importante en la contemplación macroscópica siguiente del sistema nervioso.

D División estructural del sistema nervioso: sustancia gris y sustancia blanca

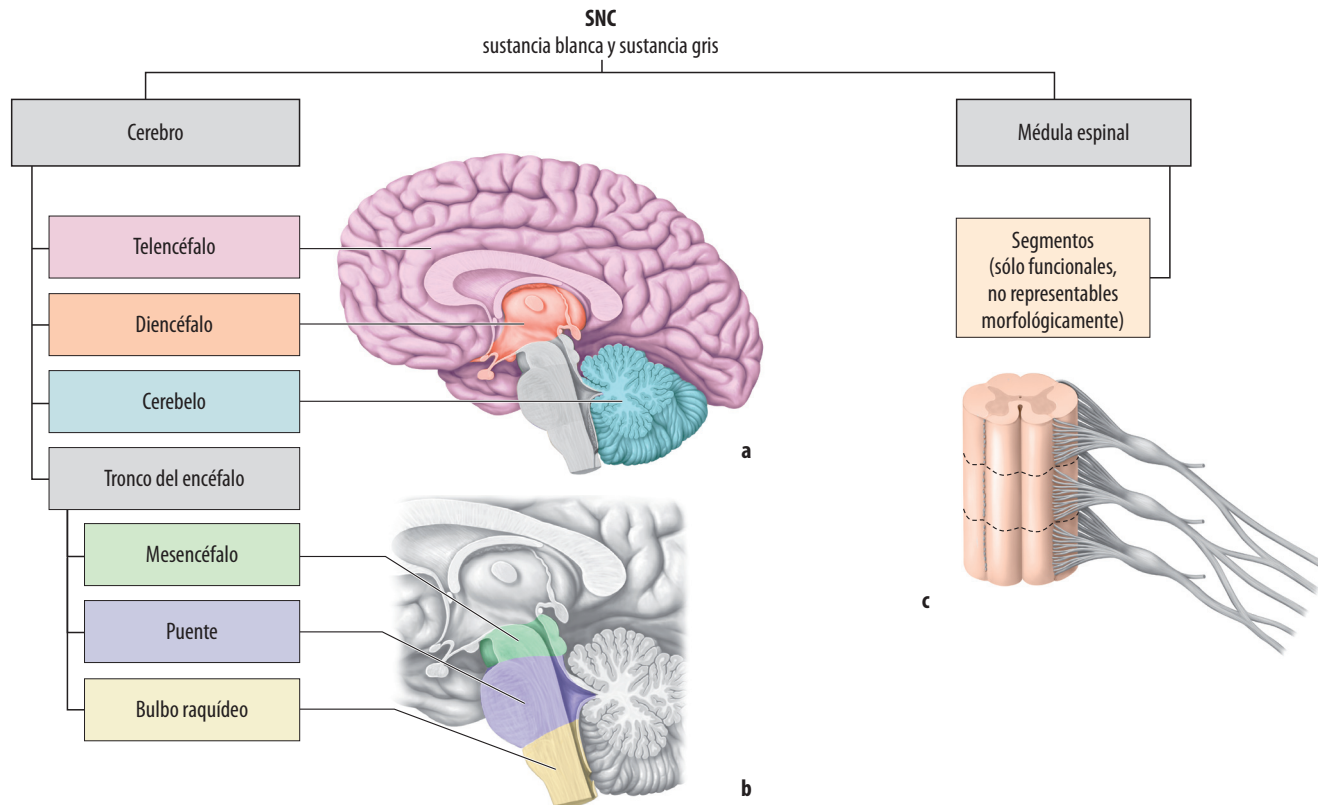
Tanto en el SNP como en el SNC hay cuerpos celulares y axones envueltos por neuroglía. Ambos son –contemplados aisladamente– solo visibles por *microscopía*. Pero como se reúnen en grupos y fascículos también son reconocibles *macroscópicamente*. Vistos a la luz del día estos grupos de cuerpos de células nerviosas son *grises*, y los fascículos de fibras mielinizadas son *blancos*. Es por esto que hablamos de *sustancia gris* (en lenguaje coloquial también «pequeñas células grises») y de *sustancia blanca*. Las *dendritas*, generalmente muy cortas, y las pocas fibras no mielinizadas se pierden dentro de la gran cantidad de cuerpos neuronales y de fibras mielinizadas, y por lo tanto no reciben una denominación aparte en esta contemplación macroscópica. Se utilizan diferentes términos, según si se describe la sustancia gris o blanca en el SNP o en el SNC (comp. también con el glosario, pág. 502 y ss.):



- Comparativamente sencilla es la terminología en el **SNP**. La sustancia blanca se describe como *nervio* y la sustancia gris como *ganglio*.
- En el **SNC** la sustancia blanca se subdivide en *vías*, que reciben distintos nombres, y la sustancia gris en *córtex* y *núcleos*.

Observe: Desde el punto de vista morfológico la sustancia gris y la sustancia blanca del SNC y del SNP están formadas de manera análoga. Esto puede pasar al olvido a la vista de la descripción precisa y la diferenciación de cada estructura (nervio, ganglio, vía, etc.).

1.3 Visión general del sistema nervioso en conjunto: Morfología y orientación espacial

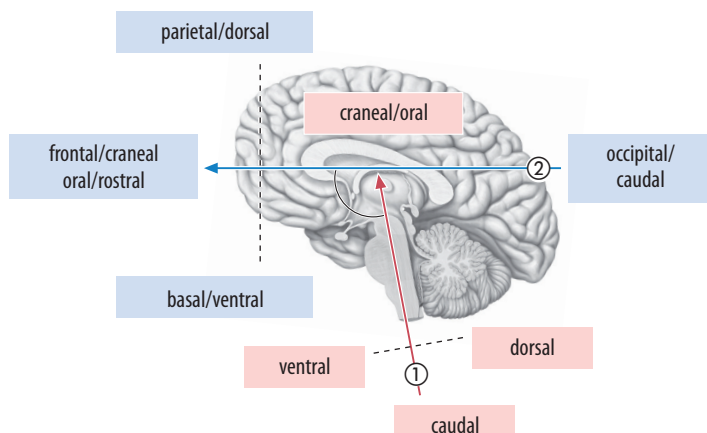


A Morfología del sistema nervioso central (SNC)

a y b Mitad derecha del cerebro, visión medial; **c** Visión ventral de una parte de la médula espinal.

Para comprender las siguientes unidades de aprendizaje es necesario tener una visión general morfológica del sistema nervioso como un todo. El SNC se subdivide en el cerebro y la médula espinal. A su vez se divide al **cerebro** (encéfalo) en los segmentos estructurales siguientes:

- Telencéfalo,
- Diencefalo,
- Cerebelo y
- Tronco del encéfalo con sus segmentos: *mesencéfalo*, *puente* y *bulbo raquídeo*.



La segunda parte del SNC, la **médula espinal**, por el contrario se presenta como una estructura morfológicamente homogénea (solo externamente). Funcionalmente la médula espinal sin embargo también se subdivide en los segmentos. La subdivisión en sustancia gris y sustancia blanca ya se reconoce bien en esta simple imagen de la visión general de la médula espinal:

- gris: la estructura central con «forma de mariposa» y
- blanca: la sustancia que rodea a esta «mariposa».

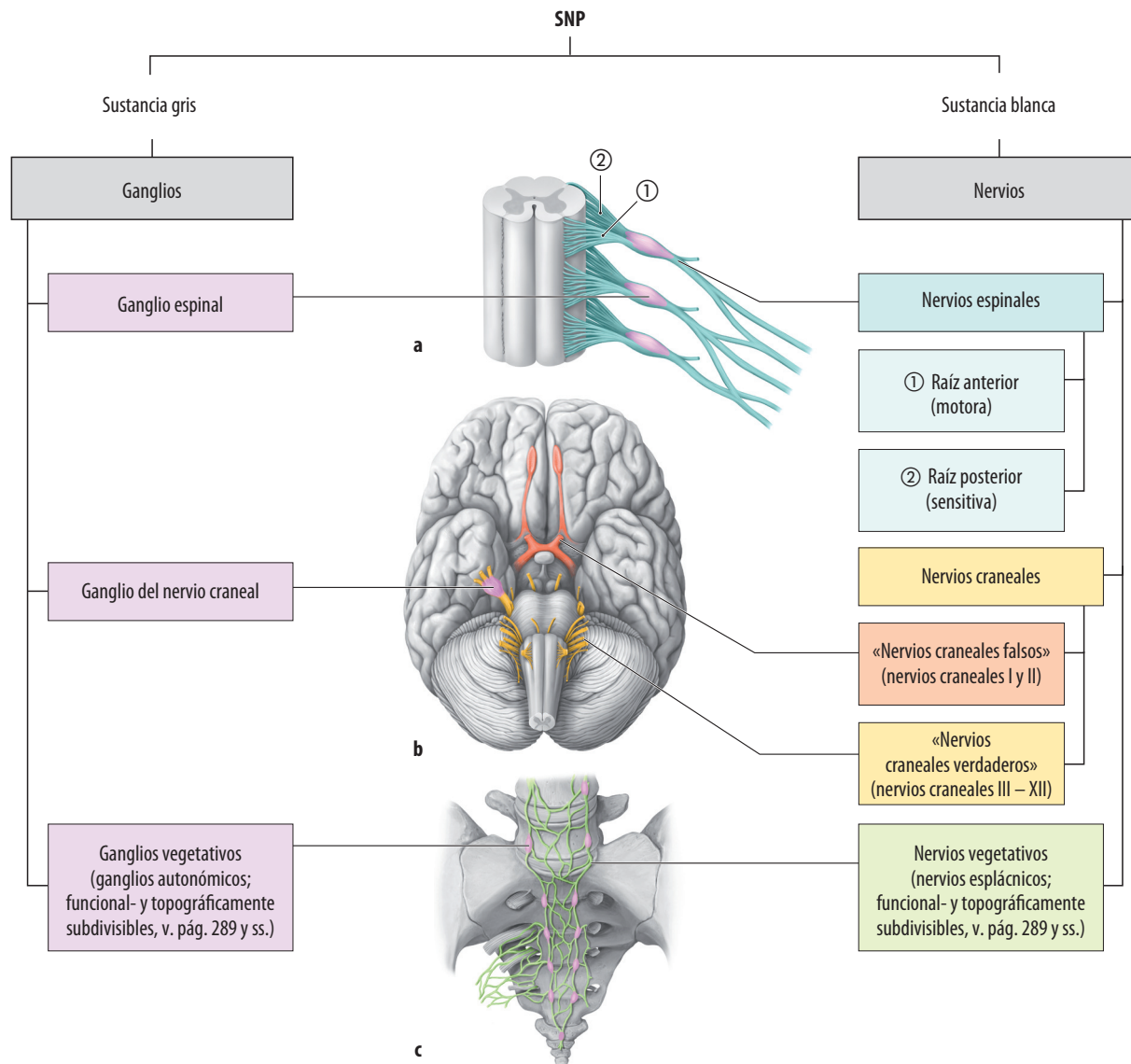
B Orientación espacial del sistema nervioso

Para el *SNC* son válidos los mismos planos, ejes y descripciones de dirección que para todo el cuerpo. En el *SNC* en cambio se diferencian *dos ejes*:

- Eje nº 1 = eje de Meynert: también corresponde a la descripción de los ejes del cuerpo y es válido para el tronco del encéfalo y el cerebelo;
- Eje nº 2 = eje de Forel: es válido para el diencefalo y el telencéfalo y está inclinado aproximadamente en 80° en relación al eje nº 1, por lo que el diencefalo y el telencéfalo están por así decir «situados panza abajo».

Observe: Para evitar malentendidos topográficos, se establecieron para el eje nº 2 las siguientes descripciones de posición:

- basal (en dirección a la base del cerebro) en lugar de ventral,
- parietal (en dirección al vértice) en lugar de dorsal,
- frontal (en dirección a la frente) y oral o rostral (en dirección a la boca o el «pico») en lugar de craneal y
- occipital (en dirección al occipucio) en lugar de caudal.



C Morfología del sistema nervioso periférico

a Visión ventral sobre un segmento de la médula espinal; **b** Visión sobre la base del encéfalo; **c** Visión sobre los ganglios y nervios vegetativos delante del sacro.

Los nervios y los ganglios que forman el sistema nervioso periférico se dividen y denominan de la siguiente manera. En los **nervios** es determinante con qué parte del SNC están en contacto:

- Nervios de la médula espinal o *nervios espinales* (contacto con la médula espinal). Típicamente 31 o 32 pares. Por razones funcionales (v. **A**, pág. 398) los nervios espinales se comunican en gran medida entre sí formando *plexos*.
- Nervios craneales (contactan con el cerebro, v. pág. 112 y ss.): «craneales» porque el cerebro está situado en el *cráneo*. 12 pares.

Los **ganglios** a su vez se dividen según su pertenencia a un sistema funcional en:

- Ganglios de la parte sensitiva de un nervio espinal o nervio craneal: ganglios sensitivos, según su ubicación se los describe como *ganglio espinal* y *ganglio del nervio craneal*;
- Ganglios del sistema nervioso visceral (= autónomo, vegetativo): ganglios vegetativos (*ganglios autónomos*, v. **B**, pág. 297), que se vuelven a dividir funcionalmente para la regulación de los órganos (v. **C**, pág. 297). Los gan-

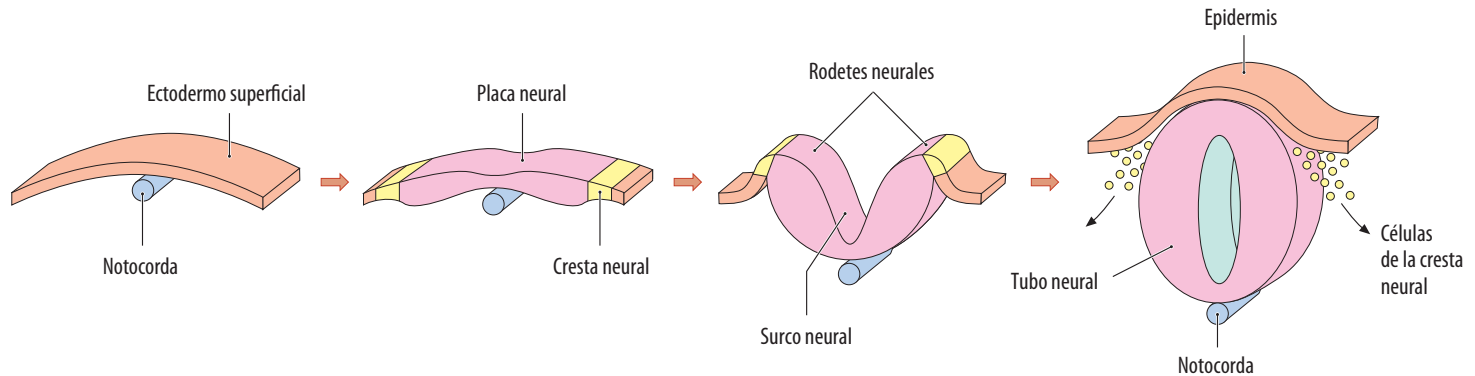
glios vegetativos tienen asignados nervios vegetativos (en realidad *nervios viscerales* [*viscera* = órgano], históricamente sin embargo *nervios esplácnicos*). A nivel de los nervios vegetativos también se observa una formación pronunciada de plexos.

Observe: La división aquí explicada en algunos pocos casos especiales no es válida. Esto concierne:

- por un lado, al N. óptico, que no es un nervio verdadero, sino una parte del diencefalo. Su designación histórica como «nervio» es, por tanto, sistemáticamente errónea;
- por otro lado, al sistema olfatorio: el bulbo y el tracto olfatorio son componentes del SNC (no del SNP), ya que están rodeados por meninges. El N. olfatorio (= acúmulo de fibras olfatorias, que a su vez están formadas por fibras de las células olfatorias), en cambio, no pertenece al SNC, ya que las células olfatorias se originan de la placa olfatoria ectodermal. El origen embriológico del epitelio de la placa olfatoria justifica aquí también su posición especial.

Por estas peculiaridades a menudo se contraponen el N. óptico y el N. olfatorio como nervios craneales «falsos» (aquí en rojo) a los 10 nervios craneales verdaderos (aquí en amarillo), que claramente pertenecen al SNP. Los detalles no se presentan aquí, ya que exceden la visión general (v. pág. 116).

1.4 Desarrollo embrionario del sistema nervioso



A Origen del tubo neural y de las crestas neurales y sus derivados

Todo el sistema nervioso se desarrolla a partir del *ectodermo*. Este se diferencia en la tercera semana embrionaria en la *placa neural* y las dos *crestas neurales*, ubicadas en dirección lateral a la placa. La placa neural se desdobra y forma el *surco neural* entre dos *rodetes neurales*, se desprende del resto del ectodermo y se cierra formando un tubo, el *tubo neural*. Las células de ambas crestas neurales también abandonan el ectodermo y migran por separado a la región que se encuentra a cada lado del tubo neural. Del **tubo neural** se originan:

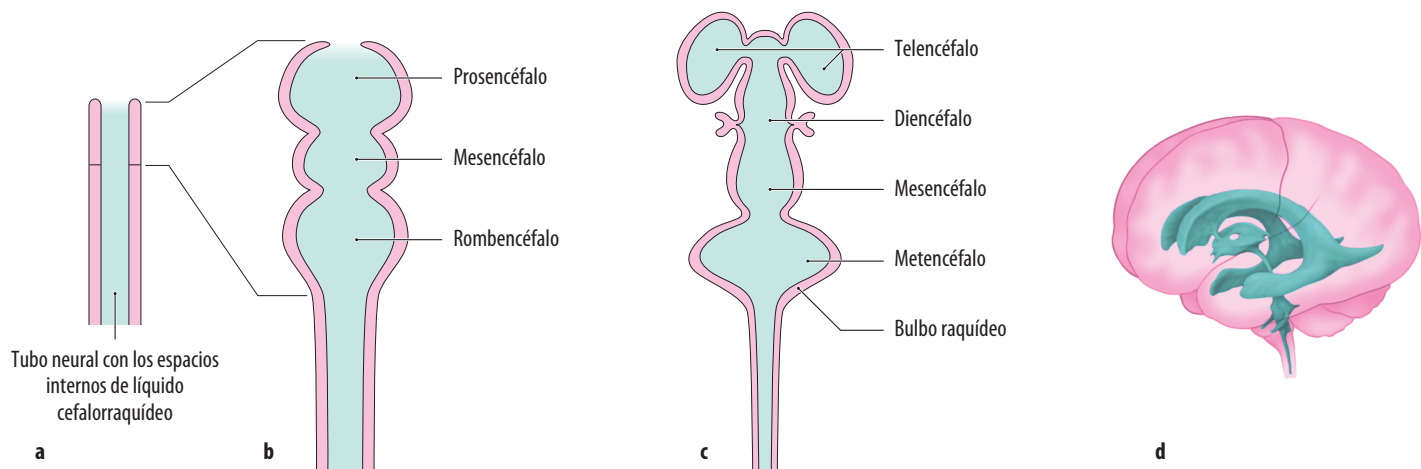
- En el *sistema nervioso central* (SNC):
 - el cerebro con sus segmentos, después de la formación de las *den. vesículas*
 - cerebrales,
 - la médula espinal,
 - las células de la glía central;
- En el *sistema nervioso periférico* (SNP):
 - la parte motora del nervio espinal (v. **C**).

De las **crestas neurales** *solo* se originan partes del *SNP*:

- la parte sensitiva del nervio espinal con el ganglio espinal,
- la totalidad del sistema nervioso periférico visceral,
- la médula suprarrenal y
- toda la glía periférica.

De las células de la cresta neural además se originan otras partes, como por ejemplo los melanoblastos (productores de pigmento de la piel), que no pertenecen al sistema nervioso.

Observe: El *tubo neural* provee entonces material para el *SNC* y el *SNP*; la *cresta neural* provee *solo* material para el *SNP*. La *médula suprarrenal* (no la *corteza suprarrenal*, que también es una glándula endocrina y que no tiene nada que ver con el sistema nervioso periférico) se debe entender ontogénicamente como un componente del sistema nervioso periférico.



B Desarrollo del cerebro y de los espacios de circulación del líquido cefalorraquídeo a partir del tubo neural

Tubo neural y sus derivados; Visión dorsal; en **a-c** el tubo neural está cortado; **d** cerebro maduro con los espacios de circulación del líquido cefalorraquídeo. Del tubo neural, inicialmente indiferenciado y abierto en sus dos extremos (**a**), se desarrollan tres *vesículas cerebrales primarias* (**b**). De estas se originan cinco *vesículas cerebrales secundarias* (**c**), a partir de las cuáles se diferencian los segmentos cerebrales definitivos. De la parte inferior del tubo neural, que no participa en la formación de las vesículas cerebrales, se desarrolla la médula

espinal. A nivel de región de la médula espinal la forma tubular del tubo neural es comprensible (v. **a**), en la región del cerebro se pierde por la formación pronunciada de vesículas.

Observe: El espacio hueco del tubo neural también se diferencia, simultáneamente con las vesículas cerebrales y la médula espinal, de manera específica: se transforma en el *den. espacio interno de circulación del líquido cefalorraquídeo* con *cuarto ventrículos* (I-IV) y el *acuoducto* (en el cerebro), y en el *conducto central* (en la médula espinal), v. pág. 312.