

11 Sistema nervioso

11.1 Fundamentos de la organización

El sistema nervioso controla el funcionamiento de todo el organismo. **Funciones:** 1) regulación de la actividad de las vísceras y el músculo esquelético, 2) comunicación con el medio externo y con el interior del cuerpo, 3) funciones de alta complejidad como el razonamiento, la memoria y las emociones. Según la función se distinguen el sistema nervioso **autónomo, vegetativo o visceral** (división autónoma), que regula la actividad de las vísceras, y el sistema nervioso **somático, animal o de la vida de relación**, el cual sirve para la inervación de los músculos esqueléticos y la percepción consciente de los estímulos sensoriales (Fig. 11.1-2).

El sistema nervioso se divide en dos partes de ubicación diferente, el sistema nervioso **central (SNC)** y el sistema nervioso **periférico (SNP)**, ambos con componentes autónomos y somáticos (Fig. 11.1-1).

El SNC (compuesto por el encéfalo y la médula espinal) es el centro nervioso regulador en el cual se procesan informaciones provenientes del cuerpo y del medio externo. El SNP consiste principalmente en un “cableado” entre el SNC y los órganos periféricos (Fig. 11.1-1). Estos cables de conducción son los nervios. Si están en conexión con el encéfalo se llaman **nervios craneales**; los que están en conexión con la médula espinal son los **nervios espinales**. Las **fibras nerviosas** que conducen las informaciones hacia el SNC reciben el nombre de **fibras aferentes**; aquellas que transmi-

ten las órdenes reguladoras desde el SNC hacia la periferia se denominan **fibras eferentes**. Otro nombre para las fibras nerviosas aferentes es **fibras nerviosas sensitivas**. Los estímulos sensitivos son captados por

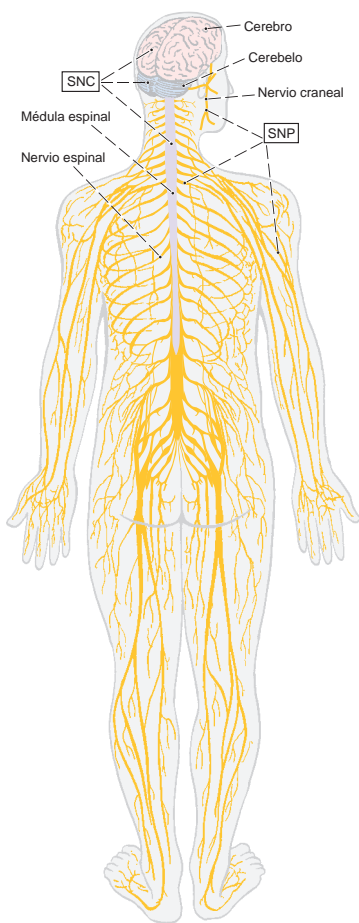


Fig. 11.1-1 Organización del sistema nervioso. ►

Comprende el sistema nervioso central (SNC, compuesto por el encéfalo [cerebro, cerebelo, tronco del encéfalo] y la médula espinal) y el sistema nervioso periférico (SNP, en amarillo). El SNP está compuesto sobre todo por nervios espinales (conectados con la médula espinal) y nervios craneales (conectados con el encéfalo).

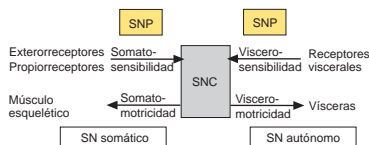


Fig. 11.1-2 Intercambio de información entre el SNC y el resto del organismo en el sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo.

La información aferente que llega al SNC proviene de las vísceras (sensibilidad visceral [viscerosensibilidad]; captación de los estímulos por medio de receptores viscerales), así como del resto del cuerpo, y del entorno (sensibilidad somática [somatosensibilidad]; captación de los estímulos por medio de exteroceptores y propioceptores). Luego del procesamiento de las informaciones sensitivas en el SNC desde éste se envían órdenes reguladoras eferentes hacia las vísceras (motricidad visceral [visceromotricidad]) y los músculos esqueléticos (motricidad somática [somatomotricidad]). Las informaciones sensitivas y motoras son transmitidas por los nervios espinales y craneales del sistema nervioso periférico (SNP).

receptores. Los receptores de los órganos internos se denominan receptores viscerales y las fibras aferentes asociadas, aferentes viscerales (visceroaferentes, sensibilidad visceral) (Fig. 11.1-2). Los receptores en la piel, los ojos y los oídos (**exteroceptores**) captan estímulos sensitivos del medio externo. Los receptores en los músculos esqueléticos, los tendones y las cápsulas articulares (**proprioceptores**) son estimulados por la distensión y así transmiten información sobre la posición de los miembros y la situación del cuerpo en el espacio. Las aferencias asociadas con los exteroceptores y los propioceptores que se dirigen hacia el SNC se conocen como **aferencias somáticas** (somatoaferencias, sensibilidad somática).

En el SNC se coordinan e integran todas las informaciones aferentes para iniciar órdenes reguladoras (eferencias) en los órganos periféricos. Si se innerva el músculo esquelético, entonces son **eferencias somáticas** (somatoeferencias, motricidad somática). La motricidad somática puede ser voluntaria o involuntaria. La innervación de las vísceras, que es inconsciente, es mediada por

eferencias viscerales (visceroeferencias, motricidad visceral). El sistema nervioso está formado por tejido nervioso, cuyos elementos celulares son sobre todo **neuronas** (células del sistema nervioso conductoras de los impulsos) y **células de la neuroglia**. Éstas derivan de la hoja embrionaria dorsal o superficial (ectodermo).

11.1.1 Sistema nervioso central

El SNC está compuesto por el **encéfalo** y la **médula espinal** (Fig. 11.1-1), ambos protegidos por estructuras de cubierta: el encéfalo por el cráneo (neurocráneo) y la médula espinal por el conducto vertebral de la columna vertebral. Por dentro están adheridas las meninges encefálica y espinal de tejido conjuntivo, las cuales rodean el espacio subaracnoideo que contiene líquido cefalorraquídeo.

El límite entre encéfalo y médula espinal está señalado por la **decusación de la vía piramidal** a la altura del foramen magno. El interior del encéfalo y la médula espinal consisten en **sustancia gris** y **sustancia blanca**. La sustancia gris corresponde a agrupaciones de somas neuronales, mientras que la sustancia blanca se compone de fibras nerviosas mielínicas. Su distribución es diferente en el encéfalo (sustancia gris principalmente superficial) y la médula espinal (sustancia gris profunda). En el encéfalo, la sustancia gris se encuentra sobre todo en la superficie como **corteza cerebral**, aunque también aparece en el interior en la forma de **núcleos** u organizada a modo de red (**formación reticular**). El encéfalo contiene un sistema de cavidades compuesto por **4 ventrículos** llenos de líquido (**líquido cefalorraquídeo**). Los ventrículos forman el **sistema linfovascular interno** y se comunican con el **espacio linfovascular externo** (espacio subaracnoideo), el cual rodea el encéfalo y la médula espinal.

Nota La sustancia gris se encuentra en la forma de núcleos y columnas en el interior del encéfalo y la médula espinal. Los giros y los surcos del telencéfalo (cerebro) y el cerebelo están cubiertos por una delgada capa superficial de sustancia gris, corteza cerebral o corteza cerebelosa.

Encéfalo

El encéfalo pesa 1.000-1.500 g (varones:

1.340-1.550 g; mujeres: 1.100-1.370 g). En relación con el peso corporal, el peso relativo del encéfalo es semejante en varones y mujeres.

Organización (Fig. 11.1-3): el encéfalo se divide en tres segmentos principales diferentes que resultan de la ontogenia:

- **Prosencéfalo** (cerebro anterior; compuesto por telencéfalo y diencefalo).
- **Mesencéfalo** (cerebro medio).
- **Rombencéfalo** (cerebro posterior), compuesto por metencéfalo y mielencéfalo (médula oblongada). El metencéfalo se subdivide en puente [protuberancia] y cerebelo.
- El **telencéfalo** o cerebro se compone de dos mitades, los hemisferios cerebrales, los cuales están unidos por sustancia blanca, sobre todo del cuerpo calloso.

Bajo la denominación **tronco del encéfalo** (Fig. 11.1-3) se incluyen 1) el mielencéfalo, 2) el puente y 3) el mesencéfalo.

Denominaciones topográficas: las denominaciones de las direcciones que resultan de ambos ejes se describen en la Fig. 11.1-4. El eje de FOREL atraviesa sagittalmente el prosencéfalo; el eje de MEYNERT atraviesa casi verticalmente la médula espinal.

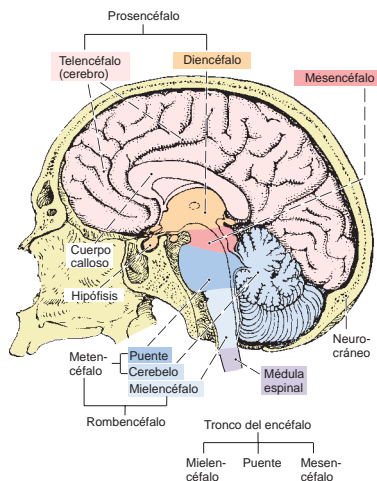


Fig. 11.1-3 Organización del encéfalo.

El neurocráneo corresponde a las partes óseas que cubren y protegen el encéfalo. El tronco del encéfalo se compone de mielencéfalo, puente y mesencéfalo.

Telencéfalo

El telencéfalo (cerebro) constituye más del 80% de la masa encefálica (Fig. 11.1-3). Para aumentar la extensión, su superficie exhibe **circunvoluciones** (giros cerebrales) y **depresiones** (surcos cerebrales) (Fig. 11.1-5). La superficie es de alrededor de 0,25 m². El telencéfalo puede dividirse en 6 **lóbulos cerebrales**:

- **Lóbulo frontal** con el polo frontal.
- **Lóbulo parietal**.
- **Lóbulo occipital** con el polo occipital.
- **Lóbulo temporal** con el polo temporal.
- **Lóbulo insular** (ínsula, ínsula o isla de REIL) (Figs. 11.1-6a y 11.1-7).
- **Lóbulo límbico**: el lóbulo límbico está formado por los sectores mediales de los lóbulos frontal, parietal y temporal y es un componente del sistema límbico.

A causa de su histología, la mayor parte (alrededor del 90%) de la corteza cerebral recibe el nombre de **isocorteza**, la cual está organizada en 5 a 6 capas. La **alocorteza** tiene 3 a 4 capas. Las regiones de transición entre la isocorteza y la alocorteza se denominan **mesocorteza**. Desde el punto de vista filogenético, la corteza se subdivide en **neocorteza**, **paleocorteza** y **arquicorteza**. La neocorteza es la mayor parte en el cerebro humano y está formada por la iso-

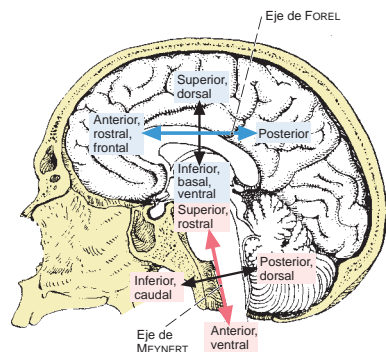


Fig. 11.1-4 Ejes encefálicos y denominación de las direcciones en el SNC.

El eje del prosencéfalo es sagital (eje de FOREL, azul); el del tronco del encéfalo es oblicuo de arriba a abajo (eje de MEYNERT, rojo) y el de la médula espinal es casi vertical (y por lo tanto concuerda con el eje de MEYNERT).

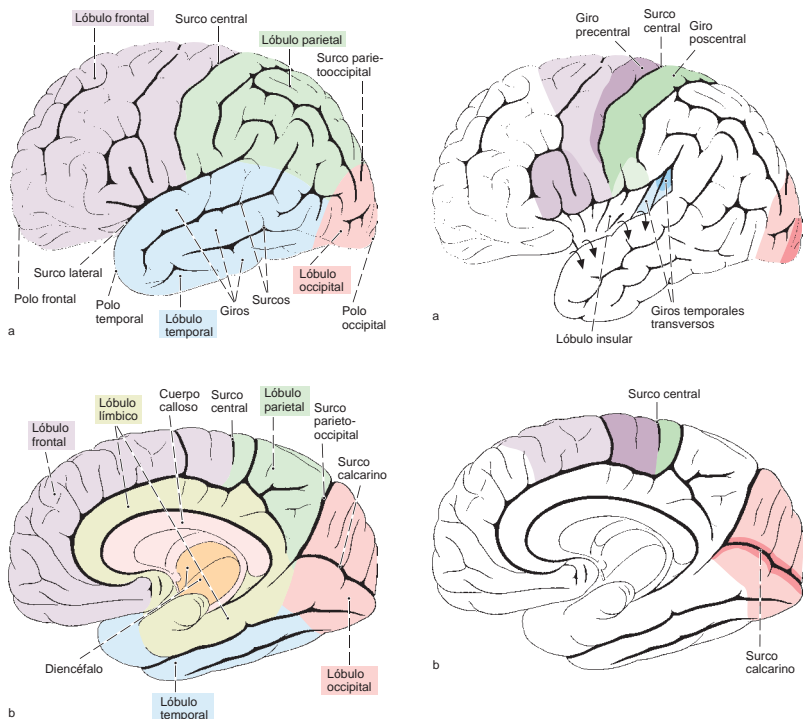


Fig. 11.1-5 División del telencéfalo en lóbulos.

Vistas lateral (a) y medial (b). En b, por razones didácticas, no se incluyeron los sectores posteriores e inferiores del diencéfalo.

corteza. La paleocorteza (partes del rinencéfalo) y la arquicorteza (sistema límbico, p. ej., hipocampo) corresponden a la alo-corteza.

Las **vías de la sustancia blanca** tienen diferentes **funciones de conducción**: en la forma de vías de asociación (fibras de asociación del telencéfalo) conectan regiones corticales diversas de un hemisferio o en la forma de vías comisurales (fibras comisurales del telencéfalo) ambos hemisferios entre sí o en la forma de vías de proyección, el encéfalo y la médula espinal.

Cada uno de los grandes lóbulos cerebrales contiene **centros corticales** funcionalmente superiores, los cuales están organizados en la forma de áreas corticales primarias, áreas corticales secundarias y áreas de asociación

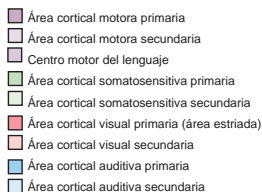


Fig. 11.1-6 Áreas corticales de los diferentes lóbulos cerebrales.

Vistas lateral (a) y medial (b). En a el lóbulo temporal se ha desplazado hacia lateral y caudal (flechas). Así se tornan visibles los giros temporales transversos (áreas corticales auditivas) y también el lóbulo de la ínsula.

(Fig. 11.1-6). El **área cortical primaria** para el control voluntario de la actividad muscular esquelética (área cortical **motora** primaria, área 4 de BRODMANN), la cual emite partes de la vía piramidal, se encuentra en el giro precentral del lóbulo frontal. En el lóbulo frontal también está el **centro motor**

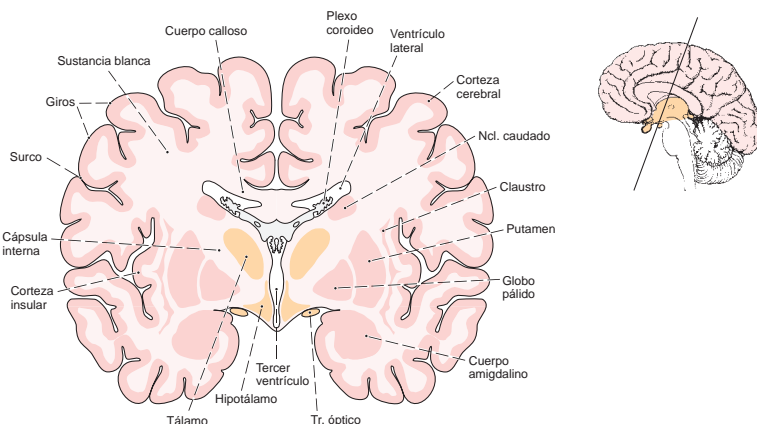


Fig. 11.1-7 Corte frontal (oblicuo) del telencéfalo.

Para el plano del corte, véase la imagen pequeña de arriba a la derecha.

del lenguaje (centro del habla de BROCA) (áreas 44 y 45). Los lóbulos parietal, occipital y temporal contienen áreas corticales **sensitivas** primarias: el área cortical **somatosensitiva** primaria en el giro poscentral (áreas 3, 1 y 2) del lóbulo parietal, el área cortical **visual** primaria en el lóbulo occipital (área estriada, área 17), el área cortical **auditiva** primaria (área 42) en los giros temporales transversos del lóbulo temporal. Además de la corteza cerebral, también hay sustancia gris incluida en la sustancia blanca en la forma de **ganglios de la base** (núcleos basales) y el **cuerpo amigdalino**. Los ganglios de la base se dividen principalmente en núcleos caudado y putamen (en conjunto llamados **estriado**) y el globo pálido.

Diencefalo

La mayor parte del diencefalo (Fig. 11.1-3) está cubierta por el telencéfalo y la masa principal está formada por el tálamo. Otras estructuras diencefálicas son el epitálamo, el hipotálamo, el metatálamo (cuerpos geniculados medial y lateral) y el subtálamo. Esta sustancia gris ubicada en la profundidad del cerebro forma sobre todo núcleos. El **tálamo** (incluido el metatálamo) es una estación de sinapsis importante para las vías sensitivas ascendentes hacia la corteza cerebral ("portal a la conciencia"). Los núcleos del **hipotálamo** tienen una importancia central para la regulación de las fun-

ciones vegetativas (p. ej., incorporación de los alimentos), la reproducción y el sistema endocrino (en especial en la regulación del lóbulo anterior de la hipófisis). Un parte del hipotálamo forma la **neurohipófisis**.

Tronco del encéfalo

Se compone de mesencéfalo (cerebro medio), puente (protuberancia) y mielencéfalo (médula oblongada) (Fig. 11.1-3). De ventral a dorsal, el tronco del encéfalo puede dividirse en tres niveles: **base del pedúnculo cerebral**, **tegmento** y **techo** (Fig. 11.1-8). La base del pedúnculo cerebral y el tegmento se compendian como **pedúnculo cerebral**. La **base del pedúnculo cerebral** se compone sobre todo de vías descendentes (motoras). En el mesencéfalo, la base del pedúnculo cerebral contiene como núcleo la sustancia negra. El **tegmento** contiene sustancia blanca en la forma de vías que establecen conexiones en el mismo tronco del encéfalo y vías ascendentes (sensitivas) (p. ej., lemnisco medial; Fig. 11.1-8). Entre estas vías, la sustancia gris se organiza predominantemente en núcleos que comprenden los núcleos de los nervios craneales y el núcleo rojo. Además, en la médula oblongada está el **complejo olivar inferior**. En todo el tronco del encéfalo hay un retículo de sustancia gris (formación reticular) que regula funciones vitales (centro circulatorio, centro respiratorio, centro

del vómito). En el **techo** del mesencéfalo se encuentra la **lámina cuadrigémina**, centro de reflejos visuales y sitio de sinapsis de la vía auditiva.

Nota Los tres segmentos del tronco del encéfalo, mesencéfalo, puente y médula oblongada, poseen una estructura básica común y relaciones funcionales estrechas entre sí.

Cerebelo

El cerebelo está unido al tronco del encéfalo por medio de tres pares de pedúnculos cerebelosos (v. Fig. 11.1-3). Está compuesto por dos **hemisferios cerebelosos** unidos entre sí por el **vermis**. La superficie del cerebelo está organizada en **circunvoluciones** (láminas del cerebelo) y **surcos** (fisuras del cerebelo). Bajo la sustancia gris de la **corteza cerebelosa** trilaminar se encuentra la sustancia blanca (**cuero medular**), en la cual hay incluida sustancia gris en la forma de **núcleos del cerebelo**. Desde el punto de vista funcional, el cerebelo está coordinado con el sistema motor del resto del SNC: desde el cerebelo no parten impulsos motores independientes, sino que el órgano se ocupa del ajuste fino y la coordinación de los movimientos y de la regulación del tono muscular y del equilibrio.

Médula espinal

La médula espinal tiene 40-45 cm de longi-

tud, pesa alrededor de 30 g y termina con un afinamiento cónico (**cono medular**) a la altura de la primera o la segunda vértebra lumbar (Fig. 11.1-9). El cono medular se continúa con el filum terminal neurálgico, el cual se encuentra rodeado por un fascículo de filetes radiculares (**cola de caballo**). Cada uno de los haces de fibras que salen hacia adelante y hacia el costado desde el surco anterolateral forma una **raíz anterior** (raíz ventral o raíz motora), la cual contiene eferencias somáticas y viscerales. Los grupos de fibras que desde atrás y al costado entran por el surco posterolateral forman, cada uno, una **raíz posterior** (raíz dorsal o raíz sensitiva), la cual conduce aferencias somáticas y viscerales desde el cuerpo hacia el interior de la médula espinal (Fig. 11.1-10). Las raíces anterior y posterior se reúnen en el **tronco del nervio espinal**, el cual sale por el foramen intervertebral y se ramifica. Las raíces anteriores y posteriores, así como el tronco del nervio espinal y sus ramas, pertenecen al SNP.

Las raíces anterior y posterior surgen en forma segmentaria a ambos lados en 31-33 segmentos medulares (8 segmentos cervicales, C1-8; 12 segmentos torácicos, T1-12; 5 segmentos lumbares, L1-5; 5 segmentos sacros, S1-5 y 1-3 segmentos coccígeos, Co1-3). Por **dentro**, la médula espinal se compone de sustancia gris, la cual está rodeada externamente por sustancia blanca

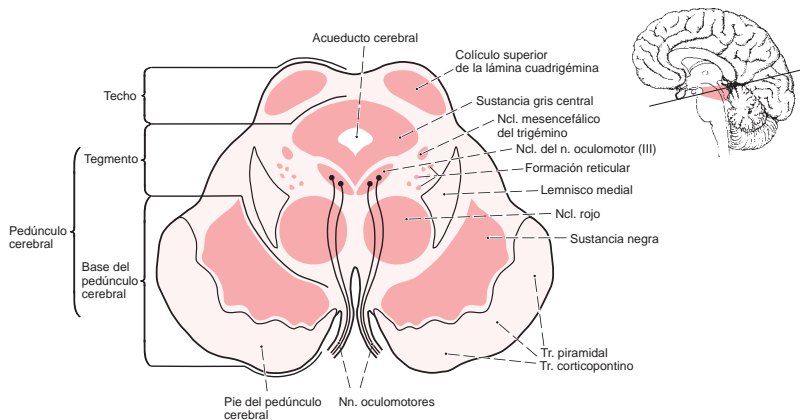


Fig. 11.1-8 Corte transversal del mesencéfalo.

Plano del corte a la altura de los colículos superiores (véase la imagen pequeña de arriba a la derecha).

(Fig. 11.1-11). La **sustancia gris** se organiza en las **astas anteriores** (astas ventrales) que contienen neuronas motoras (eferencias somáticas), por delante; las **astas posteriores** (astas dorsales) en las cuales entran fibras nerviosas aferentes somáticas y viscerales (Fig. 11.1-10), por detrás; y la **porción intermedia**, en medio. En segmentos determinados de la médula espinal (sobre todo C8-L3), de la porción intermedia surge el **asta lateral** (Fig. 11.1-11). Las astas laterales contienen neuronas eferentes viscerales del sistema simpático que envían sus axones hacia la raíz anterior a través del asta anterior (Fig. 11.1-10). Si se consideran las astas anteriores, posteriores y laterales, así como la porción intermedia, en la extensión longitudinal de la médula espinal, éstas forman las columnas anterior, posterior e intermedia (con la columna lateral entre C8 y L3). La **sustancia blanca** contigua externamente se compone de fibras nerviosas reunidas en haces (cordones, tractos, fascículos) que constituyen tanto **aferencias** como **eferencias**.

Sistemas funcionales del sistema nervioso somático

Sistemas sensitivos

A estos pertenecen los sistemas somatosensitivo, olfatorio, visual, auditivo, vestibular y gustativo.

El **sistema somatosensitivo** sirve para la captación, la conducción y la elaboración del tacto, la presión, el dolor y la temperatura de la superficie corporal, así como la tensión y el estiramiento del músculo esquelético. Se divide en un sistema de cordones posteriores (sistema del lemnisco medial), un sistema anterolateral y el sistema trigeminal. La región primaria de terminación de las aferencias es la corteza sensitiva primaria (giro poscentral del lóbulo parietal).

El **sistema olfatorio** se ocupa de la percepción, la conducción y el procesamiento de los olores. Comprende: 1) la mucosa olfatoria, 2) el n. olfatorio, 3) el bulbo olfatorio, 4) las estrías olfatorias y 5) la corteza olfatoria primaria (p. ej., área prepiriforme; regiones corticales alrededor del cuerpo amigdalino).

El **sistema visual** transmite la visión e incluye: 1) la retina, 2) el n. óptico, 3) el tracto óptico con cuerpo geniculado lateral, 4) la radiación óptica y 5) la corteza visual primaria.

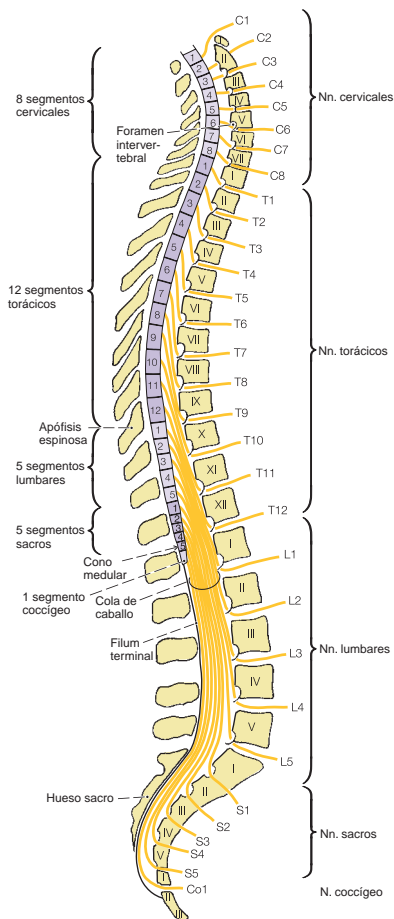
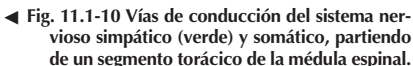


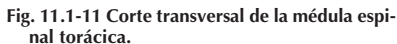
Fig. 11.1-9 Corte mediosagital de la columna vertebral y la médula espinal.

En el conducto vertebral están contenidas la médula espinal (violeta) y la cola de caballo. Obsérvese la terminación de la médula espinal a la altura de la primera vértebra lumbar (I) y las relaciones topográficas entre los segmentos medulares o los nervios espinales y la columna vertebral. Para los detalles, véase el texto.

El **sistema auditivo** sirve para la audición y comprende 1) el oído interno, 2) el octavo nervio craneal (n. vestibulococlear), 3) núcleos en el tronco del encéfalo, 4) la lámi-



Sistema nervioso somático: se ilustran fibras nerviosas motoras (rojo; inervación de fibras musculares esqueléticas) y aferentes somáticas (azul; inervación de un huso neuromuscular), las cuales transcurren por el r. anterior del nervio espinal (las fibras nerviosas en los r. meníngeo y posterior no se han dibujado). Simpático (verde): se ha dibujado el segmento eferente que proviene de dos neuronas. Las neuronas preganglionares se encuentran en las astas laterales. Sus fibras nerviosas (preganglionares) mielínicas abandonan el tronco del n. espinal y, a través del r. comunicante blanco, se dirigen hacia un ganglio paravertebral del tronco simpático. Aquí ocurre una sinapsis con neuronas posganglionares. Las fibras nerviosas posganglionares (amielínicas), a través del r. comunicante gris, se distribuyen en los ramos del nervio espinal (en el presente esquema sólo en el r. anterior). Las fibras nerviosas posganglionares inervan, por ejemplo, el músculo liso de una arteria. Una parte de las fibras nerviosas preganglionares atraviesa el ganglio paravertebral sin hacer sinapsis en él y llega hasta un ganglio prevvertebral, donde realiza una sinapsis con una neurona posganglionar. Estas fibras posganglionares sirven para la inervación del intestino del tronco. En la pared del intestino del tronco se han dibujado componentes del sistema nervioso entérico (plexos submucoso y mientérico). No se ilustran las fibras nerviosas aferentes viscerales.



Obsérvese el relieve superficial y la organización aproximada en sustancias gris y blanca.

na cuadrigémina, 5) el cuerpo geniculado medial y, por último, 6) la corteza auditiva primaria (giros temporales transversos).

El **sistema vestibular** sirve para la regulación de la postura del cuerpo y la cabeza y el equilibrio. Comprende 1) el oído interno, 2) el octavo nervio craneal (n. vestibuloclear), 3) los núcleos vestibulares en el tronco del encéfalo. Para el procesamiento de la información, éstos se encuentran en conexión con el cerebelo, las motoneuronas de la médula espinal y la formación reticular del tronco del encéfalo. La conexión con la corteza encefálica está poco desarrollada.

El **sistema gustativo** sirve para la percepción del gusto y comprende 1) la lengua (corpúsculos gustativos); 2) la vía gustativa en los nervios craneales séptimo (n. facial), noveno (n. glosofaríngeo) y décimo (n. vago); 3) estaciones sinápticas en el tronco del encéfalo (ncll. solitarios) y el tálamo y 4)

regiones corticales en la ínsula y en sectores contiguos del giro poscentral.

Sistema motor

La motricidad voluntaria se rige en las áreas corticales motoras **secundarias** (corteza premotora y corteza motora suplementaria en el lóbulo frontal) y desde el área cortical motora **primaria** (giro precentral del lóbulo frontal) se transmiten a través de la **vía piramidal** a las neuronas motoras en el tronco del encéfalo y la médula espinal, las cuales en última instancia inervan el músculo esquelético. En este sistema motor piramidal se encuentran incorporados centros encefálicos adicionales (p. ej., el cerebelo) que influyen sobre la actividad de la corteza motora. Además, la motricidad es regulada por 1) los ganglios de la base, 2) el ncl. rojo, 3) la sustancia negra y 4) la formación reticular del tronco del encéfalo. Este **"sistema extrapiramidal"** es importante para la coordinación inconsciente de toda la motricidad y el ajuste fino de los movimientos.

Sistema límbico

Regula el comportamiento afectivo, las emociones, el aprendizaje y la memoria e influye sobre las actividades corticales y las funciones vegetativas. Porciones importantes del sistema límbico son 1) el hipocampo, 2) núcleos subcorticales como el cuerpo amigdalino, 3) el giro del cíngulo y 4) estructuras talámicas.

11.1.2 Sistema nervioso periférico

A éste pertenecen los nervios con conexión con el SNC en la forma de nervios espinales y craneales, los cuales también contienen acumulaciones de neuronas (ggl. craneoespinales sensitivos) (v. Fig. 11.1-1). Hay que añadir las acumulaciones de neuronas del sistema nervioso autónomo (ganglios simpáticos y parasimpáticos; ganglios intramurales sobre todo del sistema nervioso entérico; ggl. autónomos) así como sus nervios y plexos nerviosos. Las partes del sistema nervioso autónomo se describen por separado.

Nervios craneales

Hay 12 pares de nervios craneales (I-XII) (Fig. 11.1-12). Los dos primeros nervios craneales (I, n. olfatorio y II, n. óptico) constituyen casos especiales. El n. olfatorio (I) se

compone a saber de haces de fibras nerviosas (filetes olfatorios) cuyos somas correspondientes pertenecen a las células sensoriales de la mucosa olfatoria. Estas células sensoriales pueden reemplazarse durante toda la vida. El n. óptico (II) es una vía diencefálica desplazada hacia la periferia.

Los nervios craneales III-XII son nervios **periféricos** típicos que, no obstante, se diferencian de los nervios espinales en varios aspectos: 1) no poseen un sistema radicular subdividido en raíz anterior y raíz posterior y 2) sólo pueden exhibir una calidad, por lo cual son sobre todo **eferentes** (nn. motores) o **aférentes** (nn. sensitivos).

Los núcleos de los nervios craneales III y IV se encuentran en el mesencéfalo; los de los nervios V-XII, en el rombencéfalo, es decir que todos los núcleos de los nervios craneales están en el tronco del encéfalo (excepción: n. accesorio [XI], el cual también posee un gran sector espinal). Los núcleos cuyas neuronas forman el origen de eferencias reciben el nombre de **núcleos de origen**. Los núcleos en los cuales terminan aferencias se llaman **núcleos de terminación** y contienen la segunda neurona de la vía aferente. La primera neurona de las porciones aferentes (sensitivas) de los nervios craneales se encuentra en los ganglios sensitivos de los nervios craneales. Los ganglios respectivos aparecen en el n. trigémino (V), el n. facial (VII), el n. vestibulococlear (VIII), el n. glosofaríngeo y el n. vago (X). Una particularidad de la región de la cabeza y el cuello es que varios tejidos no derivan de los somitas sino de los llamados **arcos faríngeos** (p. ej., el músculo estriado esquelético). Dado que con cada arco faríngeo se asocia un nervio craneal determinado, los derivados de un arco faríngeo también están inervados por el nervio craneal (nervio branquial) correspondiente. Estos nervios branquiales son el n. trigémino (V), el n. facial (VII), el n. glosofaríngeo (IX), el n. vago (X) y el n. accesorio (XI). Con determinados nervios craneales (III, VII, IX, X) también transcurren **fibras parasimpáticas**.

Nervios espinales

El sistema nervioso espinal tiene a su cargo la inervación sobre todo de la región del tronco y los miembros. Comienza con las raíces anteriores y posteriores de distribución segmentaria de la médula espinal que

se reúnen en un **tronco del nervio espinal** (Fig. 11.1-13). Las raíces anteriores contienen fibras nerviosas eferentes somáticas (motoras) para la inervación de los músculos esqueléticos. En los segmentos medulares C8-L3 y S2-S4 junto con las raíces anteriores también se emiten fibras nerviosas eferentes viscerales (autónomas) que sirven para la inervación de las vísceras. Así, toda la **raíz anterior** (raíz ventral) **conduce eferencias** (raíz motora). En cada raíz posterior (raíz dorsal), antes de la unión con la raíz anterior para formar el nervio espinal, se encuentra un ganglio espinal sensitivo. En consecuencia, toda la **raíz posterior conduce aferencias** (raíz sensitiva) (somatosensitiva y viscerosensitiva) (Fig. 11.1-10).

A lo largo de la columna vertebral en total salen 31-33 pares de troncos de nervios

espinales por los forámenes intervertebrales: 8 pares de nervios cervicales, 12 pares de nervios torácicos, 5 pares de nervios lumbares, 5 pares de nervios sacros y 1-3 pares de nervios coccigeos.

Dado que un tronco de nervio espinal lleva consigo varias calidades de fibras (motoras, sensitivas, autónomas) se llama **nervio mixto**. El tronco del nervio espinal es muy corto y rápidamente se ramifica un poco más allá del foramen intervertebral en (Figs. 11.1-13 y 11.1-10):

- **Ramo anterior** para la inervación de las paredes anterior y lateral del cuerpo, incluidos el cuello y los miembros superiores e inferiores.
- **Ramo posterior** para la inervación del dorso y la nuca.
- **Ramo meníngeo** para la inervación de las meninges espinales.

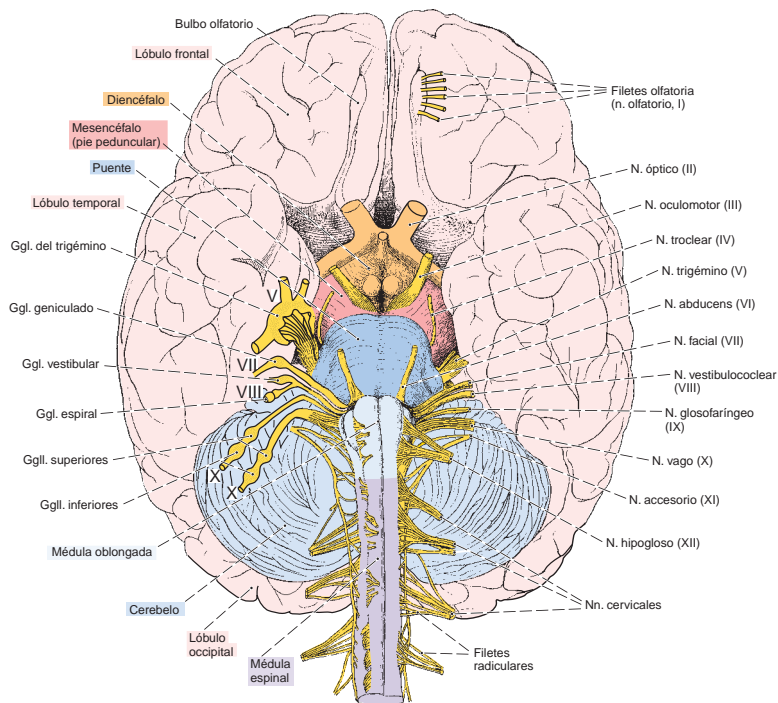


Fig. 11.1-12 Nervios craneales y ganglios de los nervios craneales.

Vista basal del encéfalo con el segmento inicial de la médula espinal (violeta). Obsérvense los nervios craneales I a XII (mitad derecha de la imagen) y los ganglios sensitivos de los nervios craneales V y VII a X (mitad izquierda de la imagen). Para los detalles, véase el texto.

- **Ramo comunicante** (sólo expresado en forma típica de C8 a L3) para la transmisión de fibras nerviosas eferentes viscerales (simpáticas) y también la mayoría de las fibras aferentes viscerales.

Formación de plexos: Los ramos anteriores tienen los territorios de inervación más grandes y exhiben las particularidades siguientes. Sólo los nervios espinales en conexión con la médula torácica (T2 – 12) conservan su organización segmentaria. El resto de los ramos anteriores de los nervios espinales forman plexos (plexos nerviosos espinales) (Fig. 11.1-14): **plexo cervical** (C1 – C4; inervación del cuello y partes de la cabeza), **plexo braquial** (C5 – T1; inervación del miembro superior), **plexo lumbar** (T12 – L4) y **plexo sacro** (L4 – S3). Mediante los dos últimos plexos se realiza la inervación del miembro inferior, el suelo de la pelvis y los genitales externos.

Así, los nervios derivados de los plexos contienen fibras nerviosas motoras y sensitivas de varios segmentos de la médula espinal (inervación motora y sensitiva cutánea plurisegmentaria o multisegmentaria). Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con la inervación motora, en lo referido a las fibras nerviosas sensitivas, éstas se juntan para la inervación de una región cutánea determinada en concordancia con su origen segmentario o radicular. Por consiguiente, con determinados segmentos medulares espinales se asocian aferencias de áreas cutáneas específicas (**dermatomas**).

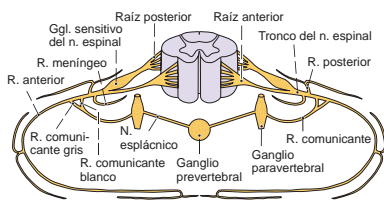


Fig. 11.1-13 Organización segmentaria del sistema nervioso espinal.

Segmento medular espinal (violeta) con las raíces (raíz anterior, raíz posterior), el tronco y las ramificaciones (ramos) de un nervio espinal. Obsérvense los ganglios del simpático (prevertebral y paravertebral) y los nervios correspondientes.

11.1.3 Sistema nervioso autónomo

Se compone de centros autónomos en el SNC y sus **eferencias viscerales** (simpático, parasimpático) para los órganos internos, así como de **aferencias viscerales** hacia los centros autónomos. Al sistema nervioso autónomo también pertenece el **sistema nervioso intramural**. Sirve para la inervación del músculo visceral, las glándulas, el músculo vascular, el corazón, el músculo erector del pelo y los órganos genitales. La actividad del sistema nervioso autónomo se realiza sobre todo a través de reflejos viscerales.

Aferencias viscerales

Las neuronas aferentes viscerales tienen su soma ubicado en los ganglios espinales y en los ganglios craneales de los nn. facial (VII), glossofaríngeo (IX) y vago (X) (v. Fig. 11.1-12). Las prolongaciones centrales pasan a los núcleos de la médula espinal y el tronco del encéfalo y desde allí hacia centros vegetativos encefálicos, así como en parte hacia la corteza cerebral (del gusto, entre otras). Las prolongaciones centrifugas transcurren con los nervios craneales mencionados o a través de los ramos comunicantes y los ramos nerviosos simpáticos asociados hacia los órganos periféricos.

Eferencias viscerales

El **simpático** y el **parasimpático** con frecuencia inervan en conjunto los órganos correspondientes. Aquí, en la mayoría de los casos, tienen funciones opuestas. En lo referido al segmento eferente del simpático y el parasimpático hay una diferencia esencial en la somatotricidad. La eferencia somatomotora comienza en el SNC (p. ej., motoneurona de la médula espinal) y se dirige sin interrupción hacia el órgano efector (músculo esquelético) (v. Fig. 11.1-10). En cambio, la eferencia visceral es **bineuronal**. La primera neurona (**preganglionar**) está situada en el SNC y envía su axón a agrupaciones de neuronas (ganglios simpáticos o parasimpáticos: ggl. autónomos). En el ganglio ocurre la transmisión sináptica hacia la segunda neurona (**posganglionar**), la cual envía su prolongación hacia el órgano efector. Los ganglios simpáticos (y, en consecuencia, la sinapsis entre los componentes preganglionar y posganglionar) en su mayoría están

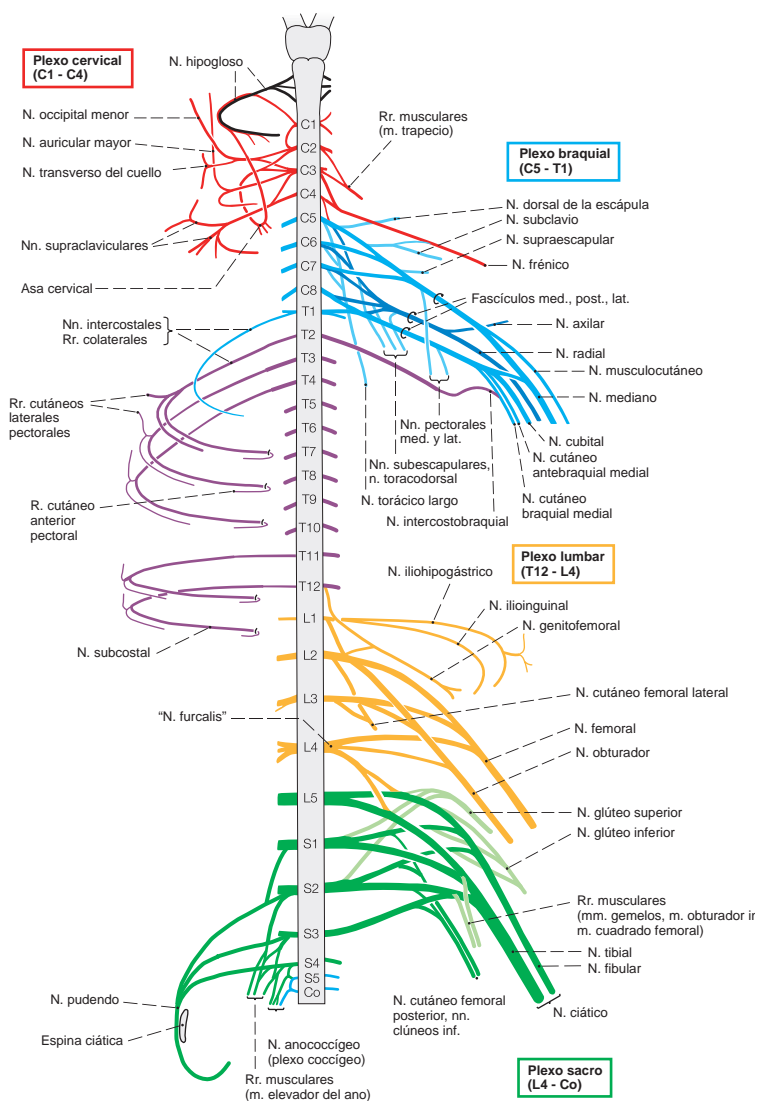


Fig. 11.1-14 Reseña de los rr. anteriores de los nervios espinales y de su participación en la formación de los plexos nerviosos.

lejos del órgano diana. En cambio, en el **parasimpático** la sinapsis entre lo preganglionar y lo posganglionar ocurre **cerca** del órgano o en el órgano efector mismo.

Además, el simpático y el parasimpático se diferencian en lo que se refiere a su **neurotransmisor**. Mientras que en la transmisión sináptica de preganglionar a posganglionar de ambos sistemas se utiliza como neurotransmisor la acetilcolina, la transmisión sináptica posganglionar hacia el órgano efector en el simpático ocurre sobre todo mediante noradrenalina pero en el parasimpático mediante acetilcolina.

Nota En el trayecto periférico de las eferencias vegetativas hay intercalados ganglios en los cuales se transmite la información de neuronas centrales (preganglionares) a neuronas periféricas (posganglionares). Los ganglios del simpático están lejos de los órganos (paravertebrales o prevertebrales), mientras que los ganglios del parasimpático están cerca.

Simpático (v. Fig. 11.1-10): las **neuronas preganglionares** se encuentran en una columna nuclear de las astas laterales (ncl. intermediolateral) de la médula espinal (C8 – L3; porción toracolumbar del sistema nervioso autónomo). Sus axones abandonan la médula espinal por las raíces anteriores en la forma de fibras nerviosas mielínicas y abandonan el nervio espinal en la forma de r. comunicante blanco (blanco a causa de las fibras nerviosas mielínicas). Estas fibras preganglionares se dirigen hacia **ganglios simpáticos** que contienen los somas de las neuronas posganglionares. La mayor parte de las fibras preganglionares hace sinapsis en **ganglios paravertebrales** a ambos lados de la columna vertebral, los cuales están conectados entre sí por medio de ramos interganglionares. Esta cadena de ganglios paravertebrales forma el **tronco simpático** a ambos lados de la columna vertebral. Una parte de las fibras preganglionares (los llamados nn. esplácnicos) atraviesa los ganglios paravertebrales sin hacer sinapsis y sólo establece contacto sináptico con neuronas posganglionares en **ganglios prevertebrales impares** (ggll. viscerales, ubicados en la región de los grandes vasos arteriales abdominales). Luego de la sinapsis en los **ganglios paravertebrales**, las fibras nerviosas posganglionares amielínicas retornan al nervio espinal en la forma de r. comunican-

te gris (gris a causa de las fibras amielínicas). Desde aquí transcurren en los rr. anteriores, posteriores y meníngeos y sus ramos hacia los órganos periféricos (p. ej., hacia los vasos sanguíneos, las meninges, las glándulas sudoríparas de la piel, el músculo liso y en parte también a los órganos internos como las vísceras del cuello y el corazón). Luego de la sinapsis en los **ganglios prevertebrales** las fibras posganglionares, a través de **plexos nerviosos**, alcanzan los órganos internos sobre todo a lo largo de los vasos sanguíneos.

Parasimpático: Tiene sus orígenes en el tronco del encéfalo y en la médula espinal sacra (S2 – S4; porción craneosacra del sistema nervioso autónomo).

El parasimpático **craneal** tiene neuronas preganglionares en núcleos del tronco del encéfalo cuyos axones transcurren con nervios craneales. Estas fibras preganglionares hacen sinapsis principalmente en cuatro **ganglios parasimpáticos cefálicos** y en ganglios de las vísceras torácicas y abdominales, en dirección caudal hasta el colon transversal (fibras del núcleo dorsal del vago). Las **fibras posganglionares** alcanzan los órganos diana con el auxilio de diversas estructuras de conducción.

Las neuronas preganglionares del parasimpático **sacro** están ubicadas en los ncll. parasimpáticos sacros (en la columna intermedia) de la médula espinal sacra (S2 – S4). Las fibras preganglionares salen de la médula espinal por la raíz anterior y transcurren hacia los plexos nerviosos de la pelvis menor en la forma de **nn. esplácnicos pélvicos**. Una parte de las fibras preganglionares hace sinapsis en ganglios pequeños del plexo; otra parte, en neuronas ganglionares intramurales de los órganos efectores (sobre todo, vejiga urinaria, colon descendente, colon sigmoide y recto).

Nota Según la ubicación de las neuronas preganglionares en el encéfalo y la médula espinal el simpático se designa como sistema toracolumbar y el parasimpático se designa como sistema craneosacro.

Plexos

Los plexos del sistema nervioso autónomo se encuentran en las cavidades torácica, abdominal y pélvica, sobre todo alrededor de los vasos más grandes. En estos plexos hay una mezcla de fibras aferentes viscera-

les y eferentes viscerales (simpático, parasimpático). Además, aquí están integrados **ganglios prevertebrales simpáticos** y ganglios del parasimpático. Los plexos y sus territorios de inervación son:

- **Plexo carotídeo** (inervación simpática en la región de la cabeza).
- **Plexo aórtico torácico** con el plexo cardíaco (para el corazón) y el plexo pulmonar (para los pulmones).
- **Plexo aórtico abdominal** con el plexo celíaco, el plexo renal y los plexos mesentéricos superior e inferior, entre otros.
- **Plexo hipogástrico superior** (segmentos del colon, órganos de la pelvis).
- **Plexo hipogástrico inferior** (principalmente órganos de la pelvis).

Sistema nervioso intramural

Se compone de plexos de fibras nerviosas y ganglios incluidos en la pared de los órganos más diversos (vías aéreas, conductos pancreáticos, vesícula biliar, órganos pélvicos, etc.). Sin embargo, su extensión mayor la posee en el intestino del tronco (sistema nervioso entérico, SNE). Está compuesto por el **plexo submucoso**, bajo la mucosa, y el **plexo mientérico**, en la capa muscular. El SNE sirve sobre todo para la regulación **intrínseca**, autónoma, de la motilidad (p. ej., peristaltismo) y la secreción de las paredes del intestino del tronco. Esta regulación intrínseca está coordinada con una **extrínseca**. Se realiza por medio del parasimpático, que estimula la motilidad y la secreción, y por el simpático, que inhibe estas funciones.

11.2 Fundamentos del desarrollo

Luego de la formación del disco embrionario trilaminar, a partir de la tercera semana del desarrollo desde el **ectodermo** se desarrolla el sistema nervioso. La inducción del tejido nervioso original (inducción nerviosa) en el ectodermo al principio conduce a la formación del **neuroectodermo** en la forma de una **placa neural** en la superficie dorsal del disco embrionario. La placa neural se separa del resto del ectodermo para formar el **tubo neural**. Este proceso recibe el nombre de **neurulación**. Durante la neurulación además se separa tejido ectodérmico que se desarrolla en **cresta neural** y sus derivados.

En el tubo neural y la cresta neural se forman neuronas y células de la neuroglia de los sistemas nerviosos central y periférico.

11.2.1 Inducción neural y neurulación

La inducción del neuroectodermo parte del **prolongamiento notocordal** mesodérmico. Éste comienza en la parte caudal como un nódulo primitivo y termina en la parte craneal en la lámina precordal. El prolongamiento notocordal forma la **placa notocordal**, incorporada en el endodermo, la cual se separa para formar la **notocorda** definitiva (v. Fig. 2-6). Los procesos inductivos provenientes de la notocorda y el mesodermo precordal impiden, entre otras cosas mediante diversas hormonas hísticas (p. ej., noggina y cordina), la diferenciación del ectodermo suprayacente en ectodermo de revestimiento (epidermis) y conducen a la formación de neuroectodermo como placa neural.

La formación de la **placa neural** comienza en la tercera semana del desarrollo (día 16-17) (Fig. 2-6). A partir de ésta, por elevación de sus paredes laterales para formar los **pliegues neurales** que flanquean el **surco neural**, surge finalmente el **tubo neural**. El proceso de plegamiento del tubo neural se denomina **neurulación**. El tubo neural se sitúa por debajo del ectodermo de revestimiento. La neurulación termina con el **cierre** de los dos orificios del tubo, el neuroporo craneal y el neuroporo caudal, en los días 24 (craneal) y 26 (caudal) del desarrollo. Ya durante la neurulación pueden distinguirse los esbozos del **encéfalo** y la **médula espinal**.

11.2.2 Regionalización del encéfalo

En el día 25 de la embriogénesis se desarrollan el prosencéfalo y el rombencéfalo en la forma de vesículas encefálicas, las cuales se encuentran unidas entre sí por medio de la **acodadura mesencefálica** (Fig. 11.2-1). Aquí surge el **mesencéfalo**. La curvatura entre el rombencéfalo y la médula espinal es la **acodadura cervical**. La luz del tubo neural se expande (cavidad prosencefálica, cavidad mesencefálica, cavidad rombencefálica; Fig. 11.2-3) y en el esbozo del encéfalo se transforma en los **ventrículos encefálicos**, mientras que en la región de la médula espinal se convierte en su conducto central. A partir de la quinta semana del desa-

rollo desde las vesículas encefálicas surgen los 5 segmentos del encéfalo del adulto: el **prosencefalo**, que se divide en telencefalo y diencefalo. Con la vesícula diencefálica se asocian las cúpulas ópticas, de las cuales derivan la retina y el nervio óptico (Fig. 11.2-1). El esbozo del mesencefalo se retrasa en su crecimiento. A partir del **rombencefalo** se originan el metencefalo y el mielencefalo (médula oblongada). La pared ventral del rombencefalo adquiere convexidad pronunciada y forma la acodadura pontina (Fig. 11.2-2), mientras que la pared dorsal forma una extensa y delgada lámina de cubierta sobre el cuarto ventriculo. En la región del metencefalo se desarrolla el **punte** (protuberancia) hacia ventral y desde los labios rombencefálicos, el **cerebelo** hacia dorsal (Fig. 11.1-2).

11.2.3 Diferenciación del tejido

La pared del tubo neural al principio se compone del **neuroepitelio** pseudoestratificado (zona ventricular), el cual provee las células precursoras (células progenitoras) para la neuroglia (glioblastos) y las neuronas (neuroblastos o proneuronas) del SNC. Este epitelio por dentro está limitado de los ventriculos por la **membrana limitante interna** y por fuera, contra la membrana basal, por la **membrana limitante externa**. En la **zona ventricular**, las prolongaciones externas de las células neuroepiteliales se alargan y surge una **zona marginal** externa del tubo neural con escasez de células. Entre estas prolongaciones se infiltran proneuronas que forman la **zona intermedia** (zona del manto) entre la zona ventricular y la zona marginal. Desde las 3 zonas de la pared del tubo neural (ventricular, intermedia y marginal) se diferencian los diversos sectores del SNC.

Médula espinal

La división triple de la pared del esbozo de la médula espinal sólo se verifica en las paredes laterales (placas laterales), dado que el sector mural dorsal (placa del techo) persiste como neuroepitelio que no continúa su diferenciación y el sector mural ventral (placa del suelo) al parecer deriva del mesodermo del nódulo primitivo. De la **zona intermedia** (zona del manto) surge una placa basal ventral y una placa alar

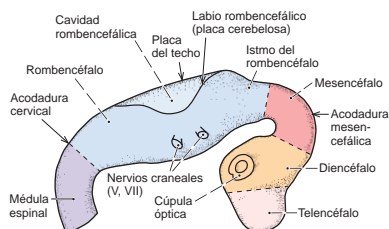


Fig. 11.2-1 División del encéfalo en cuatro sectores.

Vista lateral de los sectores superiores del SNC (final de la quinta semana del desarrollo). Las vesículas ópticas originales han continuado su diferenciación hacia cúpulas ópticas.

dorsal (Fig. 11.2-4), separadas por un surco longitudinal (surco limitante). El **surco limitante** es al mismo tiempo un límite funcional, dado que en situación dorsal con respecto al surco (en la región anterior de las placas alares) se desarrolla la zona sensitiva visceral y en situación ventral (en la región posterior de las placas basales) se desarrolla la zona motora visceral de la médula espinal, ambas incluidas en el asta lateral. A partir de la placa basal se forma el **asta anterior, motora**, y la placa alar da origen al **asta posterior, sensitiva**. Desde la

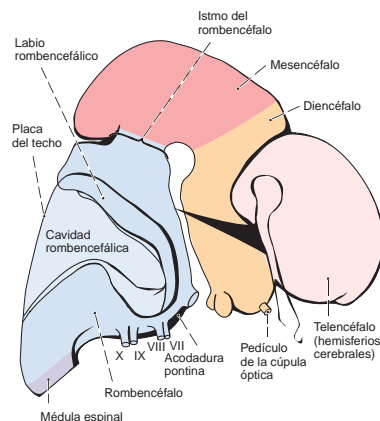


Fig. 11.2-2 Diferenciación de los hemisferios cerebrales y aparición de la acodadura pontina.

Vista lateral de los sectores superiores del SNC (final de la séptima semana del desarrollo). Números romanos = nervios craneales.

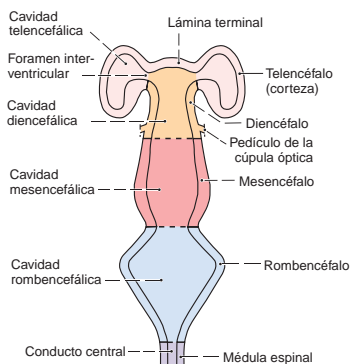


Fig. 11.2-3 Sistema de cavidades de los sectores superiores del SNC (séptima semana del desarrollo) (estado rectificado).

zona marginal se desarrolla la sustancia blanca de la médula espinal y desde la zona ventricular, el epéndimo como revestimiento del conducto central.

A partir de las células de la cresta neural en los **ganglios espinales** se desarrollan primero proneuronas bipolares sensitivas que envían su prolongación axónica hacia la médula espinal y su prolongación dendrítica hacia la diana periférica (piel, corpúsculos sensoriales). Más tarde el soma de las proneuronas cambia a la altura de ambas prolongaciones para que se forme un tronco único del que ahora parten el axón y un **axón dendrítico**. Las neuronas así formadas se llaman **seudounipolares**.

Tronco del encéfalo

La placa del suelo, la placa basal y la placa alar tienen la misma importancia ontogénica que en la médula espinal. No obstante, aquí ocurre la diferenciación de grupos neuronales adicionales y el desplazamiento de núcleos y sistemas de fibras. A partir de la **placa basal** se desarrollan, al igual que en la médula espinal, **motoneuronas**. Dado que no sólo tienen que inervar músculos de origen miotómico (músculos de la lengua) y ganglios autónomos en la cabeza y en los órganos internos, sino también músculos de los arcos faríngeos (músculos de la masticación, músculos de la mimica y músculos laríngeos), en el tronco del encéfalo se diferencian en **tres columnas nucleares**

eferentes, en lugar de hacerlo en dos como en la médula espinal.

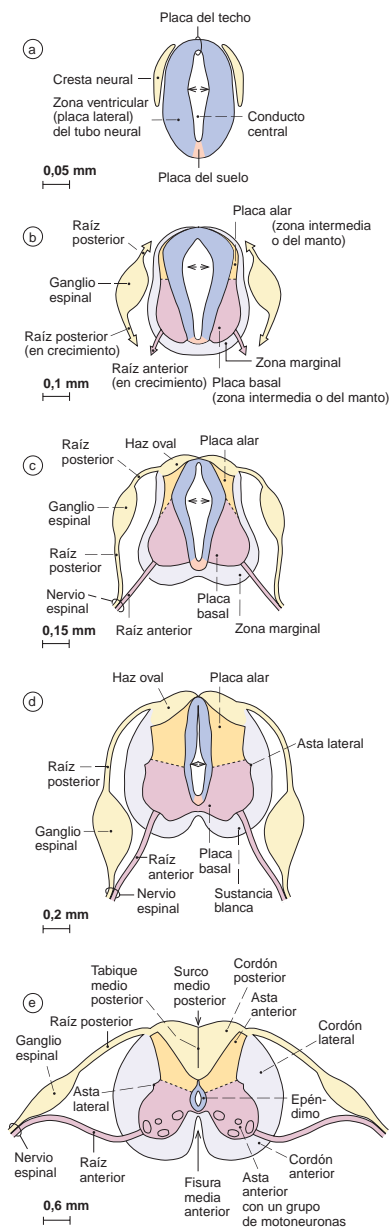
Por la apertura del tubo neural en la región del rombencéfalo, la **placa alar** pasa a ubicarse dorsolateral con respecto a la placa basal. En ella se diferencian los **núcleos de terminación para las neuronas aferentes** de los nervios craneales V, VII, VIII, IX y X (Fig. 11.2-5, v. Fig. 11.5-8). El ncl. mesencefálico del n. trigémino se forma por la inmigración de células de la cresta neural. En el segmento caudal "cerrado" del mielencéfalo, a partir de la placa alar se desarrollan los **núcleos del cordón posterior**, los ncll. grácil y cuneiforme. A partir de la placa alar del mesencéfalo se originan los colículos superiores e inferiores; los primeros procesan sobre todo informaciones visuales; los últimos, sobre todo informaciones auditivas.

Diencefalo

A partir de la quinta semana del desarrollo se diferencia el diencefalo. Por surcos de orientación longitudinal se divide de dorsal (superior) a basal en **epitálamo**, **tálamo dorsal** y **ventral e hipotálamo**, donde el surco hipotalámico persiste entre el tálamo (dorsal) y el hipotálamo. Primero comienza la diferenciación del hipotálamo (final de la quinta semana del desarrollo); le sigue la del epitálamo y el tálamo ventral. Con un retraso temporal, por último se inicia el desarrollo del tálamo dorsal (entre la octava y la décima semana). Por la migración de proneuronas posmitóticas desde la zona ventricular hacia la zona intermedia ocurre la **formación de núcleos**.

Telencéfalo

Las vesículas hemisféricas se expanden en la quinta semana del desarrollo y ya pueden distinguirse los lóbulos frontal, parietal y temporal. Éstos crecen por arriba de la región insular (opérculos frontal, parietal y temporal). A causa de la expansión de los hemisferios, todas las estructuras surgidas hasta este momento adoptan **forma de C** (hipocampo con el fórnix, giro del cíngulo, ncl. caudado, estria terminal, ventrículo lateral y cuerpo calloso). Asimismo, la corteza cerebral adquiere pliegues; aparecen **surcos y giros**. Aquí, además de las zonas ventricular, intermedia y marginal, se forman además la zona subventricular, la placa cortical y la subplaca. Proneuronas



◀ Fig. 11.2-4 Desarrollo de la médula espinal, los ganglios espinales, las raíces anteriores y posteriores y los nervios espinales.

Corte transversal a la altura de la porción superior de la médula espinal torácica. **a)** Cuarta semana del desarrollo (etapa de tubo neural); **b)** quinta, **c)** sexta, **d)** octava y **e)** vigésima a vigésima quinta semanas del desarrollo. Las flechas dentro del conducto central (**a-d**) señalan el surco limitante. Para los detalles, véase el texto.

migrantes provenientes de la **zona subventricular** (entre las zonas ventricular e intermedia) forman la **placa cortical** (entre las zonas marginal e intermedia) y la **subplaca** (entre la placa cortical y la zona intermedia). A medida que las proneuronas de la subplaca mueren, a partir de la placa cortical y la zona marginal se desarrolla la **iso-**

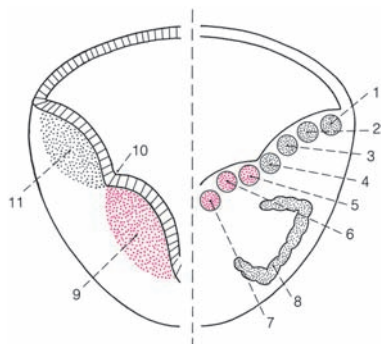


Fig. 11.2-5 Cortes transversales esquemáticos del rombencéfalo a la altura de los núcleos vestibulares y de la oliva.

El tubo neural está abierto como un libro y la placa del techo se ha expandido. El surco limitante limita la placa basal (rojo) de la placa alar (negro). A partir de la placa alar se desarrollan cuatro columnas nucleares: **1** = aferencias somáticas especiales (ASE), **2** = aferencias somáticas generales (ASG), **3** = aferencias viscerales especiales (AVE) y **4** = aferencias viscerales generales (AVG). A partir de la placa basal se originan las tres columnas nucleares de las eferencias viscerales generales (EVG, 5), las eferencias viscerales especiales (EVE, 6) y las eferencias somáticas generales (ESG, 7). Las células del complejo olivar inferior (**8**) provienen de la placa alar. **9** = placa basal, **10** = surco limitante, **11** = placa alar.

corteza de seis capas. La placa cortical da origen a las **capas II-VI** y la zona marginal, a la **capa I**. Luego de la migración de las proneuronas y las células precursoras neuróglícas, la zona subventricular desaparece y la **zona ventricular** se diferencia en **epéndimo**. A partir de la **zona intermedia** se desarrolla la **sustancia blanca**.

La **alocorteza** comprende la arquicorteza y la paleocorteza. Entre ésta y la isocorteza se forma la mesocorteza (periarquicorteza). La **arquicorteza** se convierte en el hipocampo; la **periarquicorteza** comprende el área entorrinal y el presubículo. El hipocampo precomisural y supracomisural (ubicado delante y por arriba del cuerpo calloso) permanece rudimentario (giro paraterminal e indusium griseum). El **hipocampo retrocomisural** en el lóbulo temporal se desarrolla en el giro dentado, asta de AMMON y subículo. A la **paleocorteza** pertenecen sobre todo aquellas regiones relacionadas primariamente con el sentido del olfato.

Los **núcleos del telencéfalo** aparecen en el suelo de los ventrículos laterales en la forma de un engrosamiento de las zonas ventricular y subventricular (eminencia ventricular). El extremo caudal de la eminencia ventricular forma el esbozo del **cuerpo amigdalino**. A partir de su sector lateral se origina el cuerpo estriado (ncl. caudado y putamen), partes del cuerpo amigdalino, el ncl. basal (MEYNERT) y el claustró. Su sector medial forma el ncl. accumbens, el ncl. de la estría terminal, el ncl. septal lateral y algunas regiones de la paleocorteza.

Clínica La **anencefalia** es una forma de disrafia en la cual la placa neural de la región prosencefálica no se cierra en tubo neural. En la mayor parte de los casos hay restos encefálicos pero el prosencéfalo falta. Con frecuencia también están abiertas la bóveda craneal y la columna vertebral cervical.

Por **hidrocefalia** se entiende una dilatación del espacio lícual. El líquido cefalorraquídeo puede aumentar en exceso en los ventrículos, por ejemplo, por sobreproducción o impedimento del drenaje (hidrocefalia interna). Esto conduce a una dilatación de las cavidades ventriculares y a la atrofia de partes encefálicas. Si el líquido cefalorraquídeo no puede drenar desde el espacio subaracnoideo hacia los senos de la duramadre ocurre una hidrocefalia externa. Por la presión sobre el encéfalo, en

ambas formas de hidrocefalia puede afectarse gravemente el desarrollo encefálico.

Cerebelo

El cerebelo se origina en la quinta-sexta semana del desarrollo a partir de los **labios rombencefálicos** del rombencéfalo, los cuales más tarde también reciben el nombre de placa cerebelosa (Fig. 11.2-2). Los labios rombencefálicos se encuentran en el sector dorsolateral del tubo neural original y, en consecuencia, están ubicados en la región de las placas laterales. La organización interna inicial concuerda con las regiones del SNC descritas hasta ahora (zonas ventricular, intermedia y marginal).

Las células neuróglícas de BERGMANN atraviesan con prolongaciones largas las zonas intermedia y marginal y sirven como guía para las proneuronas migrantes. Desde la zona ventricular y la zona subventricular (la llamada **capa germinal interna**) primero migran proneuronas que se congregan por fuera de la zona intermedia y formas la futura capa de PURKINJE. A partir de estas proneuronas surgen las **células de PURKINJE** y las **células de GOLGI**.

Un peculiaridad en el desarrollo de la corteza cerebelosa es que en la región de la zona marginal se establece provisoriamente la llamada **capa germinal externa** (zona germinativa) en la forma de la capa granulosa externa. Esta capa es formada por células precursoras provenientes de los labios rombencefálicos, las cuales aquí se multiplican. Las células granulosas posmitóticas originadas a partir de estas precursoras migran hacia la profundidad a lo largo de las prolongaciones radiales de las células neuróglícas de BERGMANN y, junto con las células de GOLGI, bajo la capa de células de PURKINJE forman la **capa granulosa definitiva**. Al mismo tiempo, desde las células de PURKINJE en desarrollo crecen dendritas que se dirigen hacia la capa granulosa externa, de modo que se forma la capa molecular. Las células de las cestas y las células estrelladas de la capa molecular también provienen de la capa granulosa externa. En los seres humanos, esta capa granulosa externa desaparece por migración de las células granulosas en el transcurso del segundo año de vida. Recién entonces se adquiere la corteza cerebelosa trilaminar definitiva (capas molecular, de células de PURKINJE y granulosa).

Cresta neural

La cresta neural se desarrolla durante la neurulación de los segmentos ectodérmicos contiguos a la placa neural y se divide en **cresta neural de la cabeza** y **cresta neural del tronco**. A causa de la **pluripotencia**, las células de la cresta neural emigrantes se diferencian en células y estructuras diversas según el momento de origen y la posición definitiva en el cuerpo (cuadro 11.2-1). El ectodermo también participa en el desarrollo de estructuras neuronales determinadas.

Derivados de la cresta neural de la cabeza:

- Ganglios sensitivos y parasimpáticos de la cabeza: se trata de los ganglios sensitivos del n. trigémino (ggl. trigeminal y ncl. mesencefálico del n. trigémino), del n. facial (ggl. geniculado), del n. glossofaríngeo y del n. vago (ganglios intracraneales) y de los ganglios parasimpáticos cefálicos: ggl. ótico, pterigopalatino, submandibular y ciliar. En la formación de los ganglios de la cabeza también participa el ectodermo de revestimiento, el cual exhibe engrosamientos locales (placodas) en el sitio de formación ganglionar y provee neuronas para los ganglios.
- Órganos glómicos (el glomo carotídeo, entre otros) y las células C de la glándula tiroides.
- Base mesenquimática (mesectodermo) para los huesos del cráneo, cartílago, tejido conjuntivo, dentina, músculo liso vascular, estroma de la córnea y glándulas.

Derivados de la cresta neural del tronco:

- Ganglios espinales.
- Ganglios del simpático y el parasimpático.
- Células cromafines de la médula suprarrenal.
- Sistema nervioso intramural.

Las células pigmentadas (**melanocitos**) y las células de MERKEL provienen de **ambos sectores de la cresta neural**.

Nota A partir del tubo neural se desarrolla el SNC; la cresta neural, además del SNP, también provee material para estructuras no neuronales como el mesénquima cefálico y tipos celulares específicos como los melanocitos y las células de MERKEL.

Meninges

Alrededor de los esbozos del encéfalo y la

médula espinal a partir del segundo mes del desarrollo se forman las meninges. Primero, a partir del mesénquima circundante (origen en el mesodermo de la cabeza y en la cresta neural cefálica) surge una meninge primitiva, cuya parte interna se convierte en **leptomeninge** (meninge delgada), compuesta por la piamadre (en contacto con el tejido nervioso) y la aracnoides. Las hendiduras entre ambas forman un sistema comunicante, el **espacio subaracnoideo**, que conduce líquido cefalorraquídeo. La parte externa de la meninge primitiva se desarrolla en **paquimeninge** (duramadre; meninge gruesa), la cual además cumple la función del periostio para el neurocráneo.

Derivados del ectodermo cefálico:

- Partes de los ganglios sensitivos y parasimpáticos de la cabeza.
- Células sensoriales y ganglios del oído interno (ggl. vestibular y coclear). Ambos tipos celulares surgen luego de la separación de una vesícula ectodérmica (vesícula laberíntica) desde la placoda ótica.

11.3 Meninges, revestimiento ventricular y líquido cefalorraquídeo

Entre la cápsula ósea craneana y la pared del conducto vertebral por un lado y el tejido nervioso del SNC por el otro hay un sistema de cubierta sobre todo de hojas de tejido conjuntivo, las **meninges**. Las meninges del encéfalo y la médula espinal se continúan una con la otra sin interrupción (Fig. 11.3-1). Se distinguen la **paquimeninge** (gruesa) en la forma de la duramadre y la **leptomeninge** (delgada), compuesta por la aracnoides y la piamadre (Figs. 11.3-1 y 11.3-2). La duramadre consiste en tejido conjuntivo denso con fibras colágenas abundantes y cumple la función de una cápsula de órgano. La leptomeninge es un tejido conjuntivo de fibras finas que, como aracnoides, contacta en forma directa la duramadre y, como piamadre, se apoya directamente sobre el tejido nervioso.

Entre la aracnoides y la piamadre se encuentra un espacio, el **espacio subaracnoideo**, el cual rodea el encéfalo y la médula espinal en su totalidad (Figs. 11.3-1, 11.3-2 y 11.3-3). Finas trabéculas de tejido con-

Cuadro 11-2-1 Derivados de las células de la cresta neural**Neuronas periféricas**

Neuronas sensitivas de los ganglios de los nervios espinales
(en parte, neuronas sensitivas de los ganglios de los nervios craneales)
Neuronas de los ganglios simpáticos
Neuronas de los ganglios parasimpáticos
Neuronas de los ganglios intramurales

Neuroglia periférica

Células de SCHWANN
Células satélite (anficitos)

Otros

Médula suprarrenal (células cromafines)
Mesectodermo cefálico (entre otros, huesos del cráneo, dentina, estroma de la córnea)
Melanocitos

juntivo de la aracnoides (trabéculas aracnoides) forman puentes a través de él. El espacio subaracnoideo contiene **líquido cefalorraquídeo** (espacio lícual externo) y en algunos sitios está dilatado en la forma de las llamadas cisternas (cisternas subaracnoides).

11.3.1 Meninges del encéfalo**Duramadre**

En la región del encéfalo (duramadre encefálica) la paquimeninge es una hoja de tejido conjuntivo unitaria fusionada con el neurocráneo (función simultánea de periostio y cápsula de órgano) (v. Fig. 11.3-1). En consecuencia, **no** hay un **espacio epidural** como en la región de la médula espinal. En varios sitios la duramadre se divide en dos hojas, la lámina interna y la lámina externa. La **lámina externa** se adhiere a los huesos del cráneo; la **lámina interna** se separa y forma las **estructuras** siguientes (Fig. 11.3-4a):

- Cubierta dural de conductos sanguíneos venosos orientada hacia el encéfalo (senos de la duramadre).
- Cavidad trigeminal, en el cual se encuentra el ganglio del n. trigémino.
- Diafragma de la silla que cierra la fosa hipofisaria.
- Hoz del cerebro: hoja dural falciforme en la fisura longitudinal entre los hemisferios cerebrales. Rodea los senos

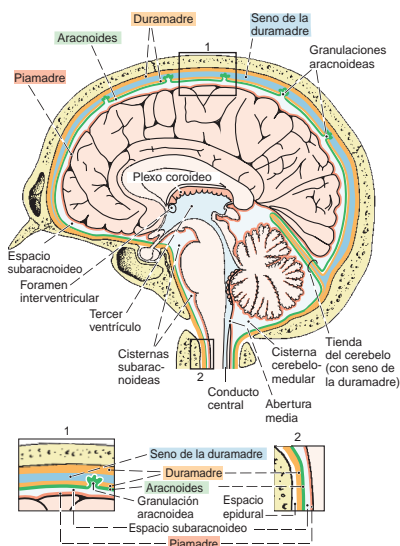


Fig. 11.3-1 Meninges y espacios lícuales interno y externo en la región del encéfalo y en la transición hacia la médula espinal.

El espacio que contiene líquido cefalorraquídeo está dibujado en azul. Con el fin de lograr una mayor claridad, las relaciones de las meninges en las regiones del encéfalo (detalle 1) y la médula espinal (detalle 2) se ilustran con mucho aumento. Para los detalles, véase el texto.

sagitales superior e inferior, así como el seno recto y se fija, por delante, a la crista galli y, por detrás, a la protuberancia occipital interna.

- **Tienda del cerebelo:** cierra la fosa craneal posterior y cubre el cerebelo. Rodea el seno transversal y el seno petroso superior. Por delante, por medio de dos pilares se fija a las apófisis clinoides posteriores y anteriores (pliegues petroclinoideos ant. y post.). Entre los pilares de la tienda persiste un orificio, la escotadura de la tienda (incisura del tentorio), para el paso 1) del tronco del encéfalo, 2) las aa. cerebrales post., 3) los nn. trocleares y 4) los nn. oculomotores.
- **Hoz del cerebro:** hoja dural falciforme entre los hemisferios cerebelosos.

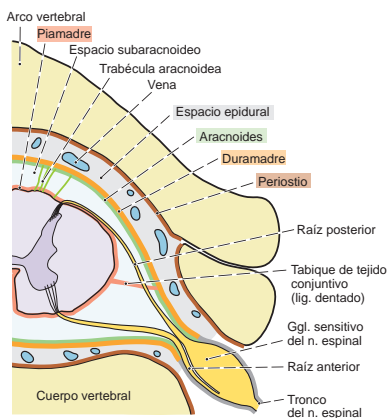


Fig. 11.3-2 Médula espinal in situ con las meninges espinales, el espacio epidural y el espacio subaracnoideo.

Corte transversal de una mitad de la columna vertebral a la altura de la cuarta vértebra cervical. El ggl. sensitivo del nervio espinal está situado en la región del foramen intervertebral. El espacio subaracnoideo se ha dibujado en azul.

Nota A diferencia de lo que ocurre en el médula espinal, en el encéfalo no hay un espacio epidural, dado que la duramadre está estrechamente fusionada con el periostio de la superficie interna del neurocráneo.

Clínica Las hemorragias por lesión de las arterias meníngeas, en especial la a. meníngea media, pueden hacer que la duramadre se desprenda del hueso con la formación de un **hematoma epidural** (Fig. 11.3-5). Los hematomas epidurales se deben a traumatismos del cráneo. Al igual que los hematomas subdurales, pueden ser ocupantes de espacio y causar un aumento de la presión intracraneana y la aparición de hernias (véase más adelante).

La hoz del cerebro y la tienda del cerebelo forman un sistema de faja de tracción que estabiliza mecánicamente desde adentro la cápsula craneana. Mediante ella se contienen los grandes desplazamientos de masa encefálica en los traumatismos (p. ej., en las contusiones céfalicas) y se reducen desgarreros del encéfalo. En los procesos ocupantes de espacio (p. ej., por tumores encefálicos o derrames sanguíneos) pueden ocurrir hernias de partes del encéfalo. Así, en la **escotadura de la tienda** pueden comprimirse partes del lóbulo temporal (uncus del giro parahipocámpal) y allí, entre otras

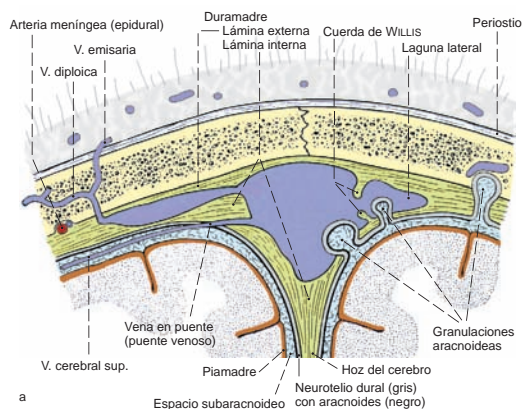


Fig. 11.3-3 Relaciones de las meninges humanas.

a) Corte frontal del vértice de la calota craneana (esquema), **b)** vista superior de la convexidad del cerebro. Los giros y los surcos del encéfalo están cubiertos por aracnoides y piamadre. En la extracción del encéfalo, la capa fibrosa de la duramadre ha quedado adherida a la calota. Las granulaciones aracnoideas se desprenden de la duramadre y permanecen con la aracnoides.

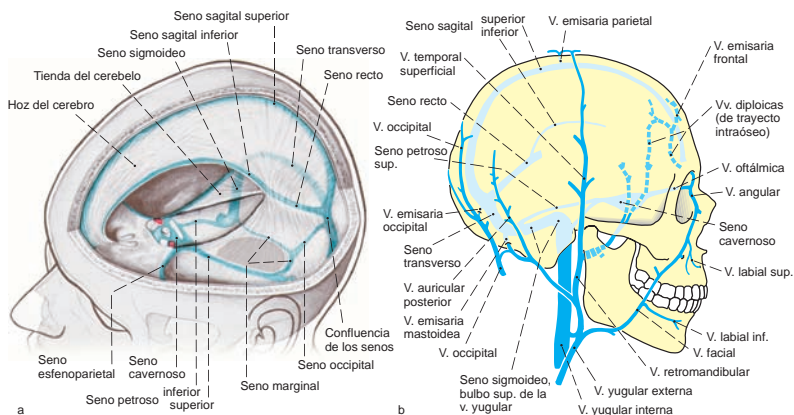


Fig. 11.3-4 Relaciones de la duramadre; senos de la duramadre con las conexiones extracraneales importantes.

cosas, herniarse el n. oculomotor (consecuencia: trastornos de la motricidad pupilar y ocular) (Fig. 11.3-5). Del mismo modo, partes del cerebelo pueden comprimirse contra el **foramen magno** (hernia amigdalina) con la compresión ulterior de la médula oblongada con sus centros respiratorio y circulatorio (consecuencia: muerte por parálisis respiratoria y disminución de la frecuencia cardíaca). Por lo tanto, en los traumatismos del cráneo deben examinarse continuamente la motricidad pupilar, la tensión arterial y la frecuencia cardíaca.

Los **senos de la duramadre** son los siguientes (Fig. 11.3-4):

- **Seno sagital superior:** impar, transcurre en la raíz de la hoz del cerebro y desemboca en una dilatación, la confluencia de los senos, en donde también desemboca el seno recto.
- **Seno sagital inferior:** impar, transcurre en el borde inferior libre de la hoz del cerebro.
- **Seno recto:** impar, recibe sangre de la vena cerebral magna y del seno sagital inferior; desemboca en la confluencia de los senos.
- **Seno transverso:** par, se origina en la confluencia de los senos y se continúa con el seno sigmoideo.
- **Seno sigmoideo:** par, se origina en el seno transverso y desemboca en el bulbo superior de la vena yugular

interna en el foramen yugular, a través de la cual drena la sangre del cráneo.

- **Seno occipital:** impar, transcurre desde la confluencia de los senos hacia el borde del foramen magno y desde allí principalmente hacia el bulbo de la v. yugular interna y el plexo venoso vertebral interno.
- **Seno cavernoso:** par, a ambos lados del cuerpo del hueso esfenoides, unido bilateralmente por medio del seno intercavernoso. El seno cavernoso recibe sangre principalmente de la v. oftálmica superior y del seno esfenoparietal.
- **Seno esfenoparietal:** par, transcurre a lo largo del ala menor del hueso esfenoides. Recibe sangre de las vv. cerebrales medias, superficiales, y la conduce hacia el seno cavernoso.
- **Seno petroso superior:** par, une el seno cavernoso con el seno transverso/sigmoideo.
- **Seno petroso inferior:** par, une el seno cavernoso con la v. yugular interna.
- El **plexo basilar** está situado sobre el clivus [lámina basilar] y une el seno intercavernoso con los plexos venosos del conducto vertebral.

A través de conexiones con las **venas diploicas** (venas en la esponjosa = diploje de los huesos del cráneo) y **venas emisarias** surgen anastomosis con las venas extracraneales.