

1.3 TÉCNICAS Y ORIENTACIONES NEUROANATÓMICAS

El principal problema a la hora de observar las neuronas no es su pequeñez. El problema es que las neuronas están tan estrechamente empaquetadas y sus axones y dendritas tan entrelazados, que si no se prepara el tejido neuronal para su observación al microscopio no se distingue casi nada. La clave para hacer estudio de neuroanatomía reside en preparar el tejido neuronal de distintas maneras, cada una de las cuales proporciona una clara visión de los distintos aspectos de la estructura neuronal, con lo cual se pueden combinar los conocimientos adquiridos del estudio de cada tipo de preparación. En esta sección del capítulo se describen en primer lugar algunas de las técnicas neuroanatómicas más empleadas y luego se explica el sistema o las direcciones que siguen los neuroanatomistas para describir la localización de las estructuras del sistema nervioso de los vertebrados.

a) TÉCNICAS NEUROANATÓMICAS

- **TINCIÓN DE GOLGI** Una de las mayores bendiciones en la neurociencia fue el descubrimiento accidental de la tinción de Golgi hecho por Camilo Golgi, un médico italiano, en torno al año 1870. Golgi intentaba teñir las meninges, mediante la exposición de un bloque de tejido neuronal *al* dicromato potásico y *al* nitrato de plata, cuando descubrió algo asombroso. Por alguna razón inexplicable, el cromato de plata generado por la reacción química invadió unas cuantas neuronas en cada una de las capas de tejido y las tiñó por completo de negro. Este descubrimiento permitió observar las neuronas individuales por primera vez, aunque sólo fuese su silueta (*véase* la Figura 3.11). Los tintes que tiñen todas las neuronas en su conjunto no muestran nada, porque éstas están muy estrechamente unidas.
- **TINCIÓN DE NISSL** Aunque la tinción de Golgi permita una excelente visión de la silueta de las pocas neuronas que absorben el tinte, no proporciona ninguna información acerca del número de neuronas que se encuentran en una zona ni acerca de la naturaleza de su estructura interna. La primera técnica de tinción que solventó estos problemas fue la tinción de Nissl, desarrollada por Franz Nissl, psiquiatra alemán, en la década de 1880. El tinte utilizado más frecuentemente en el método Nissl es el violeta de cresilo. El violeta de cresilo y otros tintes de Nissl penetran en todas las células de una sección, pero sólo se unen a las estructuras de los cuerpos neuronales. Así pues, se puede estimar el número de cuerpos celulares de una zona si se cuenta el número de manchas de tinción Nissl. La Figura 3.12 es una fotografía de una capa de tejido cerebral teñida con violeta de cresilo. Únicamente las zonas compuestas principalmente por cuerpos celulares se tiñen de

manera más densa.



Figura 3.11 Tejido nervioso teñido por el método de Golgi. Como sólo unas pocas neuronas absorben el tinte, su silueta aparece con gran detalle, pero su estructura interna permanece invisible. Normalmente, sólo se tiñe una parte de cada neurona en una sola preparación.

{Ed Reschke © Peter Arnold, Inc.}

Figura 3.12 Tejido nervioso teñido con el método Nissl. 1.1! fotografía corresponde a una sección teñida con Nissl del hipocampo del ratón, *una estructura que desempeña un papel importante en el aprendizaje y la memoria. Obsérvense las capas de los cuerpos celulares, densamente teñidas.*

(Cortesía de Jerold). M. Chun, M. D., Ph.D.)



- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA La microscopía electrónica es una técnica neuroanatómica que proporciona información detallada sobre la estructura de las neuronas. Debido a la

naturaleza de la luz, el límite de aumentos de la microscopía óptica se sitúa en 1.500 veces el tamaño del objeto, insuficiente a la hora de revelar los detalles anatómicos de las neuronas. Para obtener un mayor detalle, se recubren pequeñas secciones de tejido neuronal con una sustancia que absorba electrones, que es incorporada por las distintas partes de las neuronas en distinto grado, y luego se atraviesan con un haz de electrones y se impresiona una placa fotográfica. El resultado es una *microfotografía electrónica* que revela todos los detalles de la estructura de las neuronas (véase la Figura 4.12). La microscopía electrónica de barrido proporciona unas microfotografías espectaculares en tres dimensiones (véase la Figura 3.13), pero no es capaz de conseguir tantos aumentos como la microscopía electrónica convencional.

- **TINCIÓN DE MIELINA** Los primeros tintes creados específicamente para observar los axones fueron las **tinciones de mielina**, que tiñen selectivamente las extensiones de axones mielinizados. En la Figura 3.14 se muestra una sección coronal de tinción de mielina del encéfalo humano. Nótese que la materia blanca subcortical, compuesta principalmente por axones mielinizados, está teñida, mientras que la corteza cerebral y otros grupos de núcleos subcorticales no. Aunque las manchas de mielina son útiles para observar las zonas mielinizadas del SNC, no lo son para trazar el camino que siguen los axones individuales por tres motivos. En primer lugar, las manchas no sirven para rastrear axones amielínicos. Segundo, como los segmentos iniciales y finales de los axones sin mielinizar no están mielinizados, las manchas no pueden revelar con exactitud dónde empieza y dónde termina un axón. Tercero, porque todos los axones mielinizados se tiñen indistintamente, con lo cual es imposible distinguir unos de otros cuando están entrelazados. Las técnicas de trazado neuroanatómicas modernas intentan evitar estos problemas.

Figura 3.13 Fotografía coloreada de microscopía electrónica del cuerpo celular (en verde) de una neurona salpicada de botones (en naranja). Cada neurona recibe numerosos contactos sinápticos. (Cortesía de Jerold). M. Chun, M. D., Ph.D.)



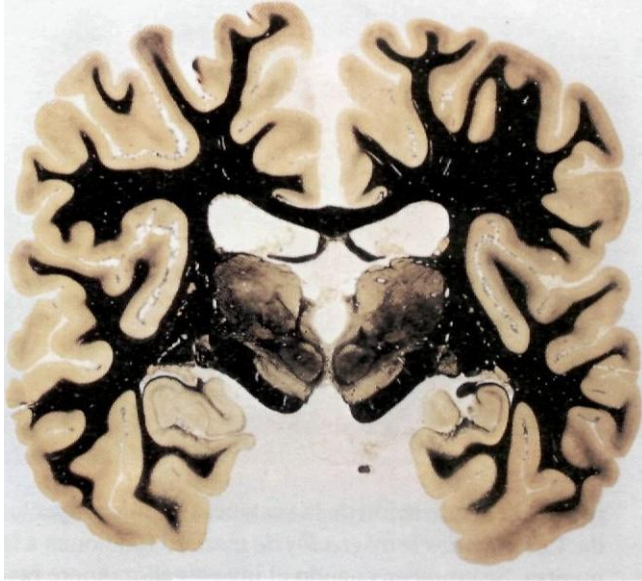


Figura 3.14 Sección del encéfalo humano con tinción de mielina. Nótese que la sustancia blanca se tiñe de negro, pero que la corteza y otros cuerpos nucleares permanecen en gran medida sin teñir.

(De *Fundamental Neuroanawmy* por Walle). H. Nauta y Michael Feirtag. © 1986 W. H. Freeman and Company. Reproducido con autorización.)

- TÉCNICAS NEUROANATÓMICAS DE TRAZADO** Estas técnicas son de dos tipos: métodos de trazado anterógrados (hacia adelante) y métodos de rastreo retrógrados (hacia atrás). Los *métodos de trazado anterógrados* se emplean para rastrear el camino de los axones proyectados desde los cuerpos celulares de una determinada región. El investigador inyecta un compuesto químico que es absorbido por los cuerpos celulares y transportado a lo largo de los axones hasta los botones terminales. Tras unos cuantos días, se extrae el cerebro y se corta en secciones. Las secciones son tratadas para revelar la localización de la sustancia química inyectada. Los *métodos retrógrados de trazado* funciona n a la inversa. Se emplean cuando el investigador quiere rastrear el camino seguido por los axones que se proyectan hacia una región determinada. El investigador inyecta un compuesto químico en esa región determinada, sustancia que es absorbida por los botones terminales y transportada hacia atrás a lo largo de los axones hasta los cuerpos celulares. Tras unos cuantos días, se extrae el cerebro y se corta en secciones. Las secciones se tratan para revelar la localización de la sustancia química inyectada (véase la Figura 3.15).

<p>Tinción de Golgi. Una tinción para las neuronas que oscurece por completo unas pocas neuronas en cada capa de tejido con lo cual ponen de manifiesto su silueta.</p> <p>Tinción de Nissl. Una tinción para el tejido neuronal con afinidad por los cuerpos celulares neuronales.</p>	<p>Microscopía electrónica. Técnica empleada para estudiar el más fino detalle de la estructura celular.</p> <p>Tinción de mielina. Tinción específica para las extensiones de axones mielinizados.</p>
---	---

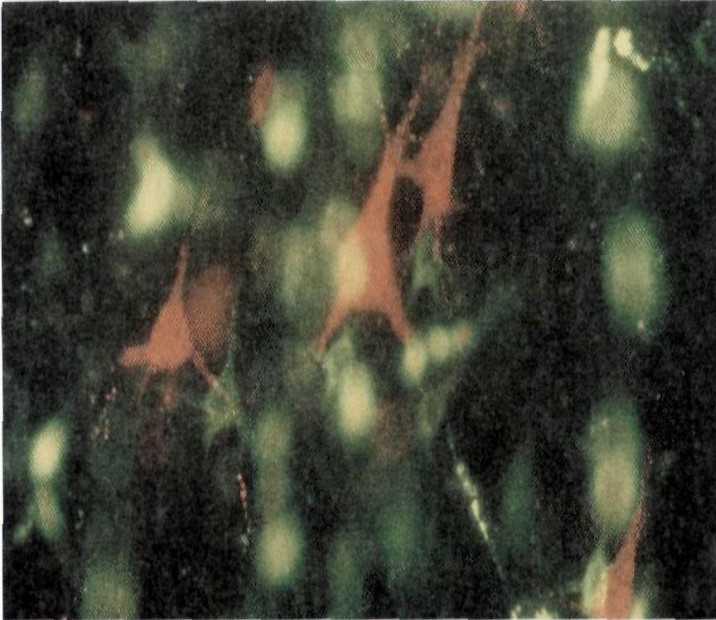


Figura 3.15 Trazado retrógrado. Inyección de un tinte fluorescente rojo (dextrano de rodamina) en la corteza visual de un gato que fue absorbido por los botones terminales de la zona y transportado de vuelta a sus cuerpos celulares. En esta sección, los *cuerpos celulares aparecen teñidos de rojo* en la corteza visual contralateral, cuyos axones se proyectan a través del cuerpo calloso al punto de la inyección.

(Cortesía de Joanne Matsubara, Departamento de Oftalmología, Universidad de British Columbia.)

b) ORIENTACIONES EN EL SISTEMA NERVIOSO DE LOS VERTEBRADOS

Las direcciones en el sistema nervioso de los vertebrados se describen en función de la orientación de la médula espinal. Este sistema es recto para la mayoría de los vertebrados, como se indica en la Figura 3.16. El sistema nervioso de los vertebrados tiene tres ejes: antero-posterior, dorso-ventral y medio-lateral. Anterior significa hacia la punta de la nariz (el extremo anterior) y posterior significa hacia el final de la cola (el extremo posterior). Estas mismas direcciones se llaman a veces rostral y caudal respectivamente. Dorso significa hacia la superficie de la espalda o hacia la parte superior de la cabeza (la superficie dorsal) y ventral significa hacia la superficie del pecho o la parte de debajo de la cabeza (superficie ventral). Medial significa hacia la línea media del cuerpo y lateral significa lejos de la línea media, hacia la superficie lateral del cuerpo.

Los humanos complicamos este triple eje (antero posterior, dorso-ventral y medio-lateral) al empeñarnos en caminar sobre las piernas, lo que cambia la orientación del cerebro con respecto a la columna.

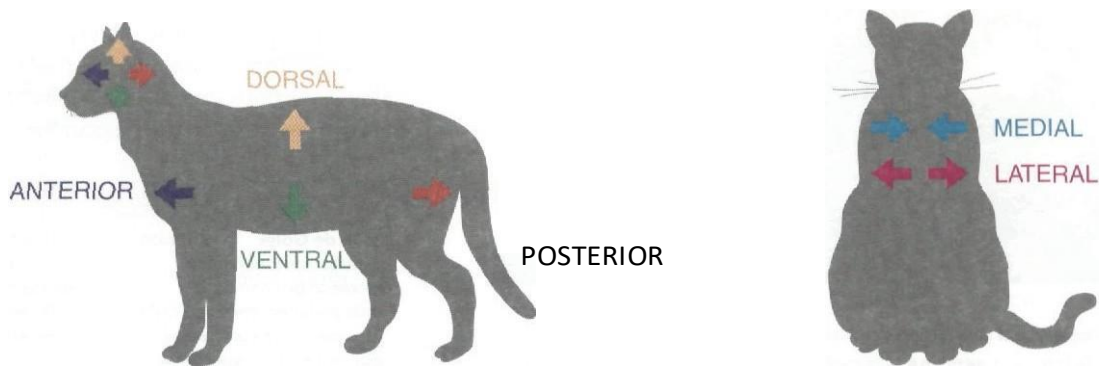


Figura 3.16 Direcciones anatómicas en un vertebrado representativo.

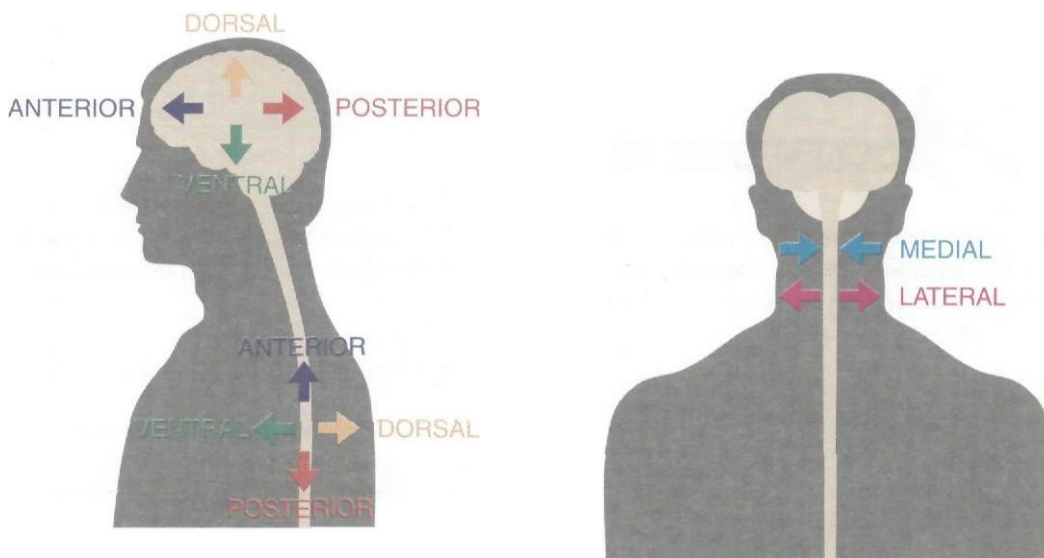


Figura 3.17 Direcciones anatómicas de un humano. Nótese que las direcciones del hemisferio cerebral están giradas 90° debido a la postura erguida de los humanos.

Pueden evitarse muchas confusiones si se recuerda que el sistema de direcciones neuroanatómicas de vertebrados se adaptó en humanos de tal manera que los términos empleados para describir la posición de las distintas superficies del cuerpo son las mismas en humanos que en la mayoría de los vertebrados no erguidos. De manera concreta la parte superior de la cabeza humana y la espalda se llaman ambos *dorsal*, aunque van en direcciones distintas, y la parte inferior de la cabeza humana, así como la parte delantera, se llaman ambas *ventral*, aunque también van en direcciones distintas (véase la Figura 3.17).

Para evitar esta complicación, se emplean a menudo los términos superior e inferior cuando se habla de superior e inferior, respectivamente, de la cabeza de los primates.

En las páginas siguientes se podrán observar secciones de dibujos del cerebro cortado en uno de los tres planos secciones horizontales, secciones frontales (también llamadas coronales) y secciones sagitales. Estos tres planos se ilustran en la Figura 3.18. La sección que atraviesa el cerebro por el centro, entre los dos hemisferios, se conoce como *sección sagital media*. La sección que corta en ángulo recto hacia cualquier estructura estrecha, como la médula espinal o un nervio, se llama sección transversal.

<p>Anterior. Hacia la punta de la nariz de un vertebrado.</p> <p>Posterior. Hacia la punta de la cola de un vertebrado o hacia la parte posterior de la cabeza.</p> <p>Dorsal. Hacia la superficie de la espalda de un vertebrado o hacia la parte superior de la cabeza.</p> <p>Ventral. Hacia la superficie estomacal de un vertebrado o hacia la parte inferior de la cabeza.</p> <p>Medial. Hacia la línea media del cuerpo.</p> <p>Lateral. Lejos de la línea media del cuerpo y hacia las superficies laterales.</p> <p>Superior. Hacia la parte superior del cerebro de los primates.</p>	<p>Inferior. Hacia la parte inferior del cerebro de los primates.</p> <p>Secciones horizontales. Cualquier sección de tejido cerebral cortada en un plano paralelo a la parte superior de la cabeza.</p> <p>Secciones frontales. Cualquier sección de tejido cerebral cortada en un plano paralelo a la cara. También se conoce como <i>sección coronal</i>.</p> <p>Secciones sagitales. Cualquier sección de tejido cerebral cortada en un plano paralelo a un lado del cerebro.</p> <p>Secciones transversales. Secciones cortadas en ángulo recto respecto de cualquier estructura estrecha.</p>
---	--

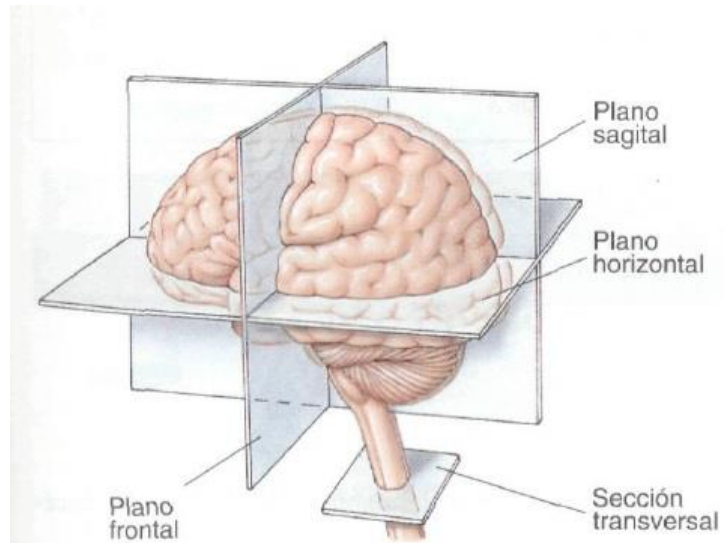


Figura 3.18 Planos horizontal, frontal (coronal) y sagital del cerebro humano y sección transversal de la médula espinal humana.

1.4 LA MÉDULA ESPINAL

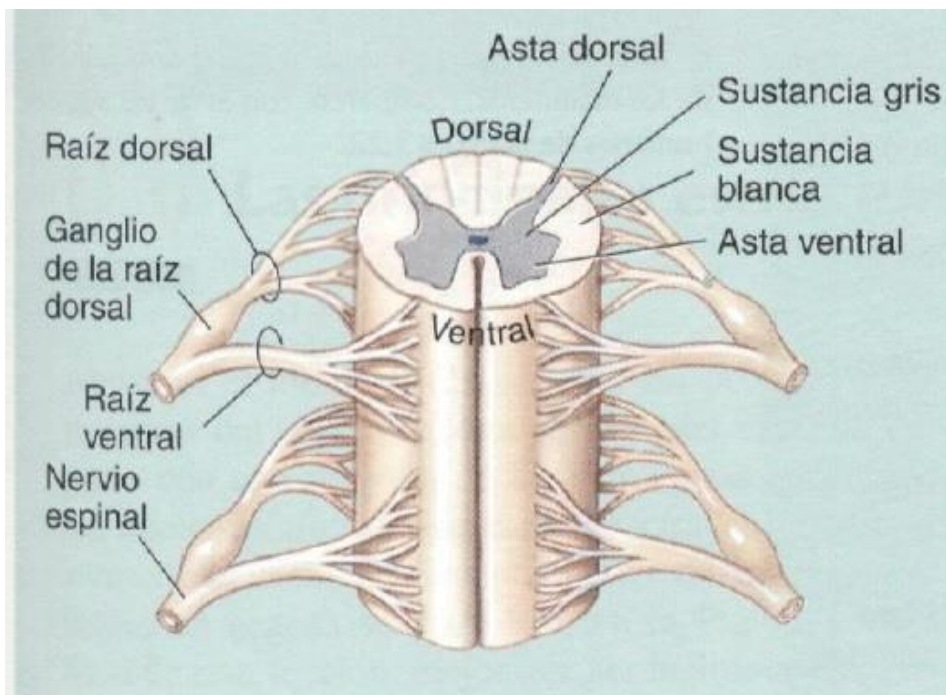


Figura 3.19 Raíces dorsal y ventral de la médula espinal.

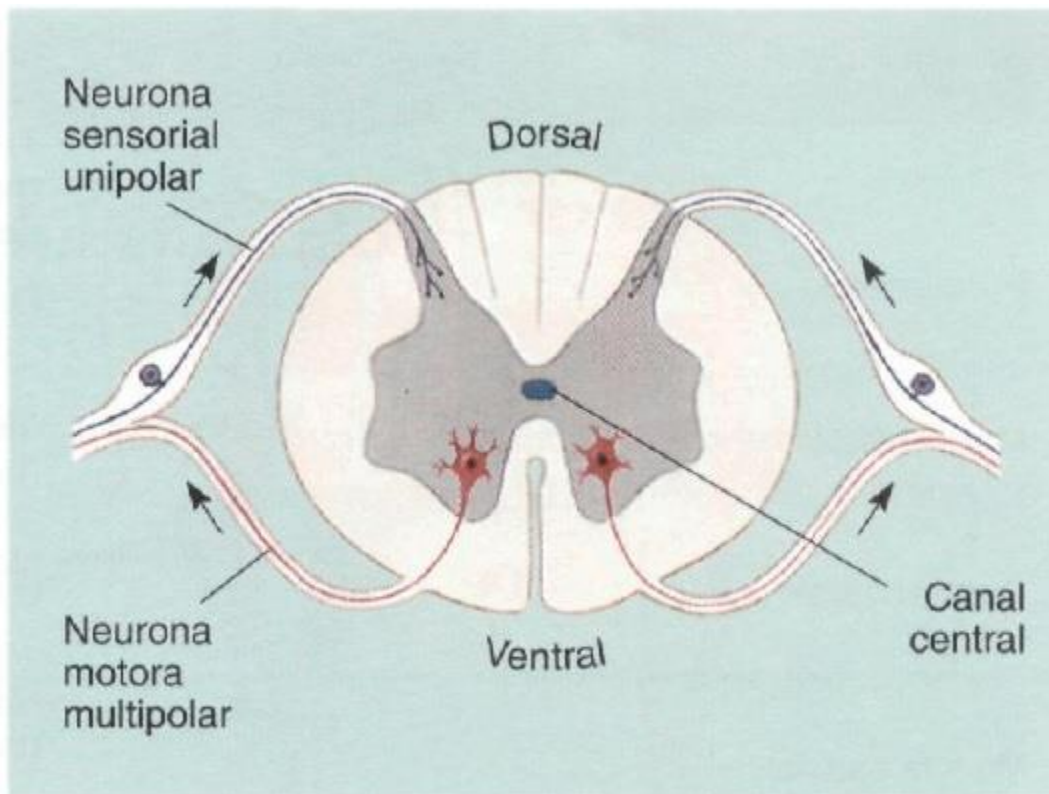


Figura 3.20 Sección transversal esquemática de la médula espinal.

En una sección transversal resulta evidente que la médula espinal comprende dos zonas diferentes (véase la Figura 3.19): un núcleo interno de sustancia gris con forma de H, rodeada de una zona de sustancia blanca. La *sustancia gris* se compone principalmente de cuerpos

celulares y de interneuronas sin mielinizar, mientras que la *sustancia blanca* se compone básicamente de axones mielinizados. Es la mielina lo que confiere a la sustancia blanca su aspecto brillante. Las dos ramas dorsales de la sustancia gris de la médula se llaman astas dorsales y las dos ramas ventrales se llaman astas ventrales.

Los pares de *nervios espinales* se unen a la médula espinal, uno a la izquierda y otro a la derecha, en 31 puntos diferentes de la médula. Como muestra la Figura 3.19, cada uno de los 62 nervios espinales se divide al acercarse a la médula, y sus axones se unen a la médula a través de la *raíz dorsal* o de la *raíz ventral*.

Todos los axones de raíces dorsales, ya sean somáticos o autónomos, son neuronas unipolares sensoriales (aférentes), cuyos cuerpos celulares, agrupados en el exterior de la médula, forman los *ganglios de la raíz dorsal*. Muchos de sus terminales sinápticos se encuentran en las astas dorsales de la sustancia gris (véase la Figura 3.20). Por el contrario, las neuronas de la raíz ventral son multipolares motoras (eferentes), y sus cuerpos celulares están situados en las astas ventrales. Las que forman parte del sistema nervioso somático se proyectan hacia los músculos. Las que forman parte del sistema nervioso autónomo se proyectan hacia los ganglios, donde forman sinapsis con las neuronas, que a su vez se proyectan hacia los órganos internos (corazón, estómago, hígado, etc.). Véase el Apéndice I.