

nal sale por debajo del cráneo y por encima de la primera vértebra cervical (el atlas). Observe en la figura 8-17 que, de arriba abajo, los nervios espinales tienen una salida con una inclinación hacia abajo cada vez más pronunciada a medida que viajan desde la médula a su punto de salida de la columna vertebral. Esta observación refleja el hecho de que, a medida que crecemos, desde la infancia hasta la edad adulta, la columna vertebral crece más rápido que la médula espinal. Otro resultado de esta tasa de crecimiento desigual es que la médula espinal termina aproximadamente a nivel de la primera o la segunda vértebra lumbar, por debajo de la cual hay un abanico de raíces de nervios espinales, que antes identificamos como la *cola de caballo*.

Cada nervio espinal inerva una localización anatómica concreta. Por ejemplo, las señales sensoriales del pulgar ascienden por un ramo nervioso del brazo y entran en la médula espinal a través de la raíz posterior (sensitiva) del sexto nervio cervical (C6). Las señales motoras de salida del C6 a los músculos y otros tejidos del brazo viajan a través de la raíz anterior (motora). Trabajan juntos: si se quema el pulgar, los músculos del brazo lo alejarán de un tirón del calor.

Los nervios espinales que inervan los miembros superior e inferior contienen un gran número de neuronas. Para adaptarse a ello, las regiones de la médula espinal que inervan los miembros superior e inferior se amplían en los *ensanchamientos cervical y lumbar*, respectivamente.

### Algunos ramos anteriores se entremezclan para formar plexos

Los ramos anteriores de los nervios T2 a T12 se extienden directamente a las estructuras que inervan. Sin embargo, los ramos anteriores de los nervios espinales cervicales, lumbares, sacros y coccígeo se entremezclan para formar **plexos** (del latín *plexus* = «tejido entrelazado»), o redes de axones entrelazados que se recombinan para formar nervios nuevos que llevan axones de varios segmentos de la médula espinal (fig. 8-17). Por ejemplo, los ramos de algunos nervios lumbares y la mayoría de los nervios sacros se unen para formar el *plexo sacro*. Los axones de muchos de estos ramos se recombinan para formar el *nervio ciático*, el nervio más grande del cuerpo.

**¡Recuerde!** Ramos de los nervios de varios niveles de la médula espinal se entrelazan para producir un plexo, cuyas fibras se recombinan para formar los nervios periféricos.

Los cuatro principales plexos del sistema nervioso somático son:

- El **plexo cervical**, que inerva la piel y los músculos de la parte posterior de la cabeza, el cuello, la parte superior del hombro y, muy importante, el diafragma (nervio frénico). Este plexo está compuesto principalmente por los axones de los nervios cervicales C1 a C4, con algunos axones del C5. Una lesión de la médula espinal por

encima del origen del nervio frénico (que se origina en los nervios C3, C4 y C5) puede paralizar el diafragma y causar insuficiencia respiratoria. Esta lesión fue la que sufrió el fallecido Christopher Reeve.

- El **plexo braquial**, formado por los nervios C5 a C8 y T1, inerva los miembros superiores y algunos músculos del cuello y del hombro.
- El **plexo lumbar**, formado por los nervios L1 a L4, inerva la pared abdominal, partes de los miembros inferiores y los genitales externos.
- El **plexo sacro**, formado por los nervios L4 a S4, inerva los glúteos, el periné y los miembros inferiores. Tenga en cuenta que el nervio L4 contribuye con axones tanto al plexo lumbar como al sacro.

### Examen sorpresa

**8-26** ¿Cómo se denomina lo que ocurre cuando la médula espinal integra una señal sensorial en una acción motora inmediata?

**8-27** ¿En qué asta de la sustancia gris de la médula espinal están localizados los somas de las motoneuronas?

**8-28** ¿Qué separa a la duramadre del hueso vertebral?

**8-29** ¿Qué surco se extiende más profundamente en la médula espinal, el surco medio posterior o la fisura media anterior?

**8-30** ¿El ganglio de la raíz posterior es parte del SNP o del SNC?

**8-31** Verdadero o falso: el ramo comunicante de los nervios T1 a L2 transmite señales del sistema neurovegetativo.

**8-32** ¿A través de qué dos plexos pasan los nervios del miembro inferior?

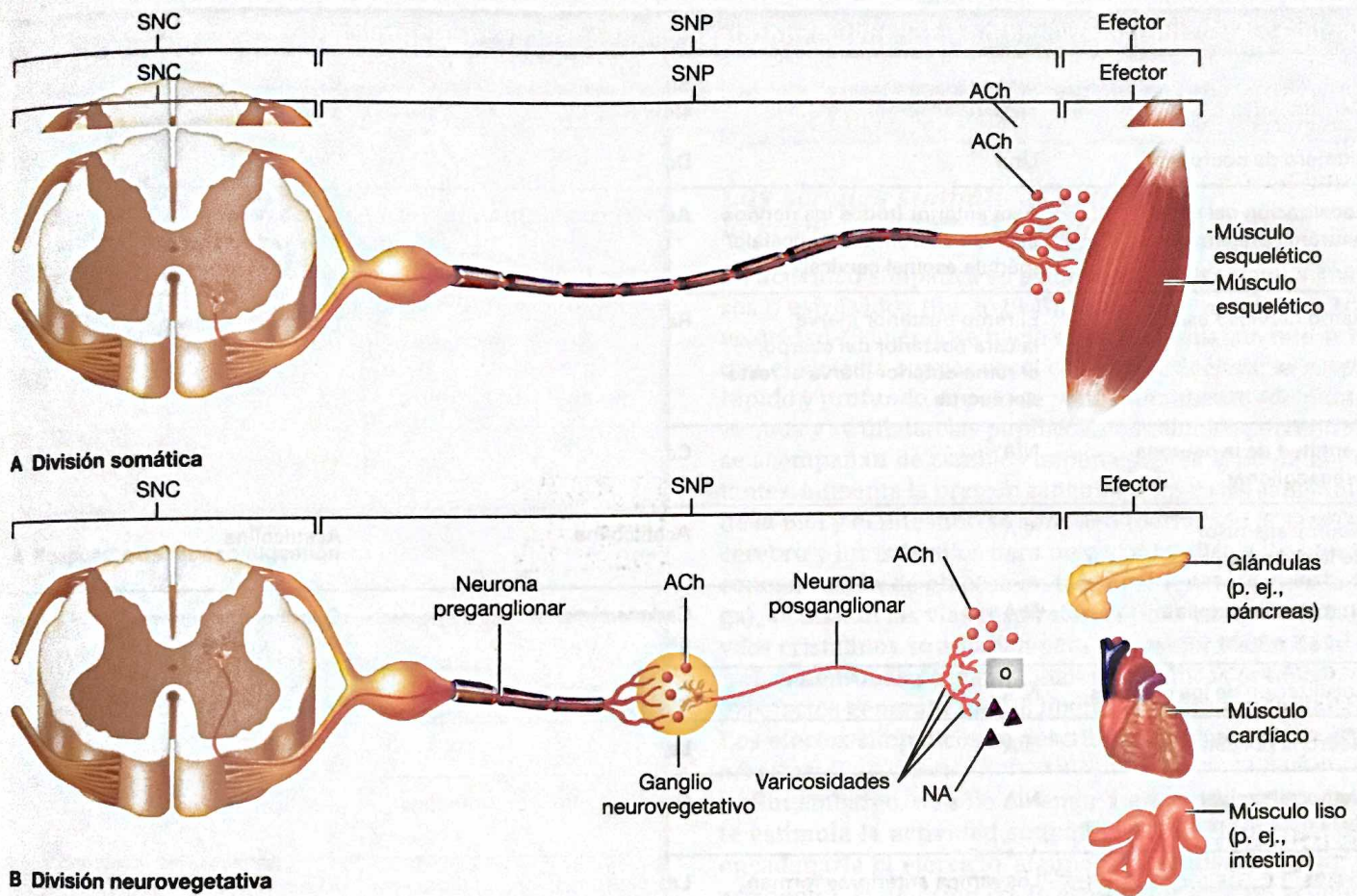
## Sistema neurovegetativo

Al comienzo de este capítulo vimos que la división somática del SNP transporta las señales sensoriales que la corteza cerebral percibe *de forma consciente* y las señales motoras que la corteza cerebral envía *de forma voluntaria*. Los únicos efectores de la división somática son los músculos esqueléticos. Por el contrario, la división neurovegetativa, denominada **sistema neurovegetativo** o **sistema nervioso autónomo**, transporta las señales sensoriales y motoras desde y hacia el hipotálamo, que funciona *automáticamente*, sin consciencia y fuera del control voluntario. El sistema neurovegetativo utiliza una amplia variedad de efectores, entre ellos el músculo cardíaco, el músculo liso y las glándulas.

### Los sistemas neurovegetativo y somático difieren anatómicamente

Los sistemas neurovegetativo y somático difieren en cuanto a anatomía y función, como se resume más adelante en la





**Figura 8-18. Vías motoras somática y neurovegetativa.** A) Las vías motoras somáticas utilizan una sola neurona colinérgica para llevar las señales entre la médula espinal y el músculo esquelético. B) Las vías motoras neurovegetativas utilizan una neurona colinérgica y una segunda neurona, que es colinérgica o adrenérgica, para transmitir las señales entre la médula espinal y el músculo liso, el músculo cardíaco o las glándulas. Las neuronas colinérgicas emplean acetilcolina (ACh) y las neuronas adrenérgicas emplean noradrenalina (NA). ¿Qué tipo de neuronas son siempre colinérgicas, las preganglionares o las posganglionares?

tabla 8-2 y se muestra en la figura 8-18. Por ejemplo, se diferencian en el número de neuronas que conectan el SNC con el órgano diana:

- En la división *somática*, una sola neurona conecta el SNC con el órgano diana. En la mayor parte de los nervios craneales, el soma de la motoneurona somática se encuentra en el cerebro; en el caso de los nervios espinales (y el nervio craneal XI), el soma se encuentra en la médula espinal. No obstante, en ambas neuronas, el axón se extiende hasta la fibra muscular esquelética a la que estimula.
- En la división *neurovegetativa* son precisas dos neuronas para conectar el SNC con el tejido diana. Estas dos neuronas hacen sinapsis en un **ganglio neurovegetativo**, un nódulo de sustancia gris del SNP. El soma de la primera neurona, la **neurona preganglionar**, se encuentra en la sustancia gris del cerebro o de la médula espinal. Esta primera neurona mielinizada hace sinapsis con una segunda neurona, la **neurona posganglionar** amielínica. El soma de la segunda neurona se encuentra en un ganglio neurovegetativo.

Los sistemas somático y neurovegetativo también utilizan *neurotransmisores* diferentes. Recuerde que en el capítulo 4 se decía que los neurotransmisores son sustancias químicas que transmiten, amplifican o modifican las señales eléctricas entre una neurona y otra célula.

- Los potenciales de acción *somáticos* se transmiten a través de las sinapsis desde las neuronas al músculo esquelético exclusivamente por la **acetilcolina (ACh)**.
- Los potenciales de acción *neurovegetativos* se transmiten a través de las sinapsis de una neurona a otra por la ACh, pero las señales desde las neuronas al tejido efector (músculo cardíaco, músculo liso o glándula) son transmitidas por la ACh o la **noradrenalina (NA)**.

**¡Recuerde!** Para llegar a los tejidos diana desde el SNC, el sistema nervioso somático (voluntario) necesita una sola neurona; sin embargo, el sistema neurovegetativo (involuntario) precisa dos.



Tabla 8-2. Sistema nervioso periférico (vías motoras): características morfológicas

Característica	Sistema nervioso somático motor	Sistema nervioso simpático	Sistema nervioso parasimpático
Número de neuronas	Una	Dos	Dos
Localización del soma neuronal preganglionar	Asta anterior (todos los nervios espinales), tronco del encéfalo/ médula espinal cervical	Asta anterior de T1-L2	Asta anterior de S2-S4, tronco del encéfalo (nervios craneales III, VII, IX y X)
Ramo nervioso espinal	El ramo posterior inerva la cara posterior del cuerpo, el ramo anterior inerva el resto del cuerpo	Ramo comunicante	Los nervios pélvicos salen del ramo anterior
Longitud de la neurona preganglionar	N/A	Corta	Larga
Neurotransmisor de la neurona preganglionar	N/A	Acetilcolina	Acetilcolina
Nombre de ganglios	N/A	Cadena simpática, ganglios colaterales	Ganglios terminales
Localización de los ganglios	N/A	Cerca de las vértebras	Cerca del órgano diana
Neurona posganglionar	N/A	Larga	Corta
Neurotransmisor de la neurona posganglionar	N/A	Generalmente noradrenalina	Acetilcolina
Plexos	Los ramos anteriores forman los plexos cervical, braquial, lumbar y sacro	Las neuronas posganglionares se unen a plexos neurovegetativos	Algunas neuronas preganglionares se unen a plexos neurovegetativos

Es más, la forma en que las motoneuronas del sistema neurovegetativo hacen sinapsis con sus órganos diana es diferente. Recordemos que las motoneuronas somáticas se dividen en múltiples ramos pequeños, o terminales axónicos (v. fig. 7-3 B), que liberan neurotransmisores en un lugar pequeño, aislado, que en el músculo está representado por la unión neuromuscular. Sin embargo, las motoneuronas posganglionares neurovegetativas no tienen terminales axónicos. En cambio, se liberan neurotransmisores de las partes engrosadas del axón llamadas *varicosidades*, que inervan una zona amplia permitiendo que el neurotransmisor se difunda más ampliamente que en una sinapsis motora. Esto hace que un número relativamente pequeño de fibras motoras del sistema neurovegetativo controle grandes extensiones de músculo liso o de tejido glandular.

### Las divisiones simpática y parasimpática producen efectos opuestos

Al igual que el sistema nervioso somático, el sistema neurovegetativo comprende tanto nervios motores como sensitivos. Más adelante en esta sección estudiaremos los nervios sensitivos neurovegetativos.

Los nervios motores autónomos se agrupan en dos divisiones, según los efectos que producen y los neurotransmisores que utilizan. La **división parasimpática** estimula una reacción de reposo-digestión con la Ach como neurotransmisor; la **división simpática** estimula una reacción de lucha/huida utilizando NA (tabla 8-2). La NA es muy similar a la *adrenalina*, una hormona secretada por la glándula suprarrenal que se comenta más adelante.

### Apuntes sobre el caso

**8-16** La frecuencia cardíaca de Larry había aumentado al llegar al hospital. ¿Qué ramo del sistema neurovegetativo produjo este cambio y qué neurotransmisores participaron en la transmisión de la señal desde el SNC al corazón?

### Las señales parasimpáticas ayudan a mantener el estado de reposo y digestión

La actividad parasimpática es evidente cuando estamos tranquilos y relajados (fig. 8-19 A). Imagínese tumbado en





A Respuesta de reposo/digestión



B Respuesta de lucha/huida

**Figura 8-19. Efectos del sistema neurovegetativo.** A) La división parasimpática activa la respuesta de reposo-reproducción-digestión. B) La división simpática activa la respuesta de lucha/huida. ¿Qué división aumenta la frecuencia cardíaca?

un campo, de excursión. Sus ritmos cardíaco y respiratorio se adaptan a un ritmo lento y regular. Los jugos digestivos fluyen, aumenta la actividad intestinal y el esfínter interno se relaja para una posible evacuación. La presión arterial disminuye y las vías respiratorias del pulmón se contraen, debido a que está inactivo y no necesita mucho oxígeno ni flujo sanguíneo. Las pupilas se estrechan y aumenta el espesor del cristalino para una visión cercana más clara.

Todas estas acciones son inducidas por el mismo neurotransmisor, la ACh, liberada por las neuronas posganglionares parasimpáticas en los diferentes órganos diana. Por lo tanto, los efectos parasimpáticos se describen a veces como *colinérgicos*.

**¡Recuerde!** Tanto las neuronas preganglionares como las posganglionares del sistema nervioso parasimpático utilizan ACh.

### Las señales simpáticas estimulan la respuesta de lucha/huida

La actividad simpática es evidente cuando estamos ansiosos o estresados (fig. 8-19 B). Imagínese un coche a toda velocidad dirigiéndose hacia usted. Inmediatamente se activa el sistema simpático: el corazón se acelera, se respira rápido y profundo, el pelo se pone literalmente «de punta», se suda y se dilatan las pupilas. Estos cambios perceptibles se acompañan de cambios imperceptibles igual de importantes: aumenta la presión sanguínea, los vasos sanguíneos de la piel y el intestino se contraen (derivando la sangre al cerebro y los músculos para un uso más eficaz), se eleva la concentración de glucosa en la sangre (energía para la fuga), se dilatan las vías respiratorias (más aire para la fuga) y los cristalinos se aplanan para una mejor visión de lejos.

Las neuronas posganglionares simpáticas producen estos efectos generalizados al liberar el neurotransmisor NA. Los efectos simpáticos se describen a menudo como *adrenérgicos*.

Sin embargo, no sólo el temor a un accidente inminente estimula la actividad simpática. También pueden desencadenarla el ejercicio, algunos traumatismos (cirugía o accidente), la emoción como espectador ante un acontecimiento deportivo o un trastorno emocional. Datos recientes sugieren que la actividad simpática puede afianzar más los recuerdos en la corteza cerebral, lo que los hace más o menos inolvidables.

### Apuntes sobre el caso

**8-17** Recordemos que la presión arterial de Larry disminuyó tras el accidente. ¿Qué corregiría su problema, una inyección de epinefrina o de ACh?

### Los sistemas simpático y parasimpático difieren anatómicamente

Las divisiones simpática y parasimpática no sólo difieren en los efectos que producen y en el neurotransmisor posganglionar que emplean, sino también anatómicamente. Por ejemplo, los ganglios simpáticos se localizan cerca de la columna vertebral, mientras que los parasimpáticos están cerca del tejido diana o en él. Como consecuencia, el axón preganglionar del sistema simpático es corto, porque los ganglios se encuentran muy cerca de la columna vertebral, mientras que el posganglionar es largo. En el sistema parasimpático sucede lo contrario: el axón preganglionar es largo, porque los ganglios se encuentran cerca del tejido diana o en él, y el axón posganglionar es corto. En las figuras 8-20 y 8-21 se observan estas diferencias.

Asimismo, los nervios espinal difieren en diferentes segmentos: los emergen de la médula espinal en diferentes segmentos: los



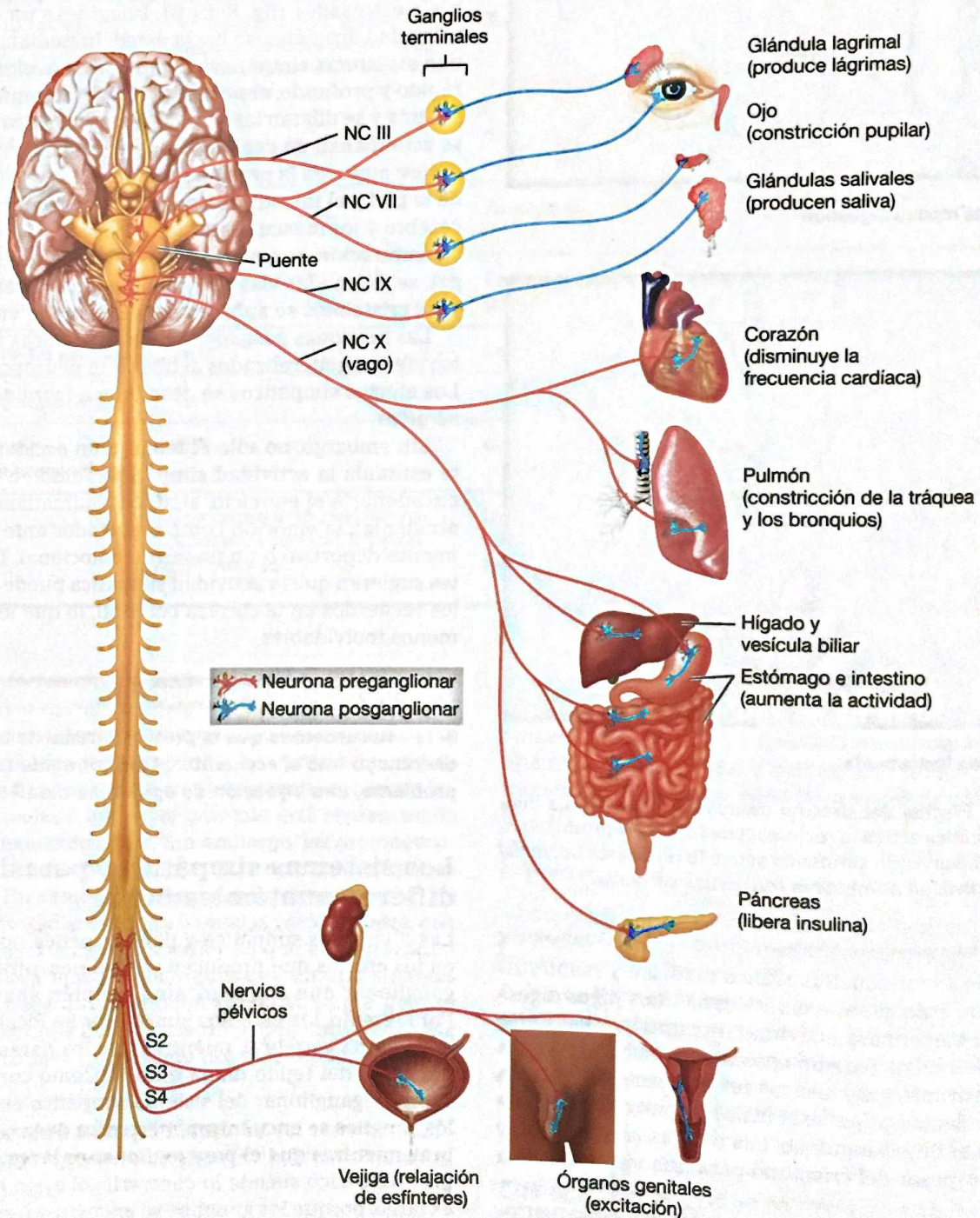
parasimpáticos salen del cerebro y de la región sacra de la médula espinal, mientras que los simpáticos salen de las regiones torácica y lumbar de la médula espinal.

### Las señales parasimpáticas se originan en las regiones craneal y sacra

La división parasimpática del sistema neurovegetativo también se conoce como *división craneosacra* porque las seña-

les parasimpáticas motoras se originan en los núcleos de los nervios craneales y los segmentos sacros de la médula espinal (fig. 8-20).

Las neuronas preganglionares de la porción craneal de la división craneosacra se originan en los núcleos cerebrales de los nervios craneales III, VII, IX y X. Los de la parte sacra provienen de la sustancia gris de la región S2 a S4 de la médula espinal y viajan a través de los nervios espinales correspondientes. Estas neuronas preganglionares



**Figura 8-20. División parasimpática.** Las neuronas preganglionares, que aparecen en rojo, se originan en el tronco del encéfalo (nervios craneales III, VII, IX y X) y los segmentos medulares S2-S4 (nervios pélvicos), y terminan en una sinapsis en el ganglio de terminación parasimpática sobre la tráquea y los bronquios?



parasimpáticas hacen sinapsis con una segunda neurona (posganglionar) en un **ganglio terminal**, que se encuentra muy cerca o en el tejido diana.

Los nervios craneales transportan señales salientes parasimpáticas destinadas a la cabeza, la cara, el tórax y el abdomen. Alrededor del 80% del total del flujo de salida de señales motoras parasimpáticas discurre por el nervio craneal X, el nervio vago, que conecta con varios lugares en el tórax (corazón, laringe, vías respiratorias del pulmón) y en el abdomen (intestino, páncreas, hígado, vesícula biliar y páncreas). Otros nervios craneales y sacros transportan el 20% restante.

Las neuronas parasimpáticas que se originan en los segmentos medulares S2, S3 y S4 se extienden a lo largo de un corto tramo por el ramo anterior de sus nervios espinales; a continuación se ramifican para formar los *nervios pélvicos* de carácter exclusivamente parasimpático (no tienen componentes somáticos ni simpáticos). Estos nervios transportan las señales parasimpáticas motoras a partes del intestino grueso y a los órganos pélvicos.

El intestino grueso, encargado de contener y eliminar las heces, tiene ganglios parasimpáticos en su pared muscular. La ausencia congénita de estos ganglios en un segmento del colon impide que las ondas normales de contracción (peristaltismo) pasen por la pared para empujar la materia fecal a lo largo del intestino. En tales casos, el intestino grueso se obstruye, aunque su luz esté abierta, y las heces no pueden pasar a través del segmento afectado. Más proximalmente, la parte no afectada del colon se dilata de forma considerable, ya que se llena de materia fecal; esta enfermedad se llama *megacolon congénito*. Sin una intervención quirúrgica que elimine el segmento defectuoso de colon puede producirse una rotura, una infección o la muerte.

### Las señales simpáticas provienen de las regiones torácica y lumbar

La división simpática del sistema neurovegetativo también se conoce como *división toracolumbar*, porque las señales simpáticas se originan en los segmentos torácicos y los dos primeros lumbares de la médula espinal (fig. 8-21).

La primera motoneurona simpática (la neurona preganglionar) se origina en la sustancia gris de la médula espinal. Su axón se extiende por el ramo anterior de un nervio espinal y por el ramo comunicante de un nervio torácico o lumbar hasta la **cadena simpática**, una serie de pares de ganglios que forman como una cadena de cuentas a cada lado de toda la columna vertebral. A pesar de que la cadena simpática sólo recibe impulsos de los nervios espinales T1 a L2 (inclusive), en la cadena hay un ganglio a nivel de cada vértebra en las regiones torácica, lumbar, sacra y cocígea, y tres ganglios en la región cervical.

**¡Recuerde!** Los ramos comunicantes conectan el ramo anterior de los nervios espinales torácicos y lumbares con los ganglios de la cadena simpática.

Los axones de algunas motoneuronas simpáticas hacen sinapsis con su segunda neurona (la neurona posganglionar) dentro de la cadena simpática. Sin embargo, los axones de otras neuronas no hacen sinapsis en la cadena simpática. En vez de ello, pasan por la cadena para hacer sinapsis con su segunda neurona en uno de los **ganglios colaterales**, que se encuentran en forma de nódulos impares próximos al borde anterior de la columna vertebral. Los tres ganglios colaterales principales, *celiaco*, *mesentérico superior* y *mesentérico inferior*, se encuentran cerca de los orígenes de las grandes arterias que emergen de la aorta y que se denominan según dichos ganglios. Los nervios que conectan la cadena simpática con los ganglios colaterales se denominan **nervios espláncnicos**.

Después de la sinapsis en la cadena simpática o en los ganglios colaterales, el axón posganglionar llega hasta su órgano diana (p. ej., el intestino o la vejiga). Hay una excepción notable: la glándula suprarrenal. Las neuronas que se originan en la médula espinal pasan a través de un ganglio colateral y terminan directamente en la parte interna (médula) de la glándula suprarrenal (cap. 15). Como resultado de la estimulación por impulsos nerviosos simpáticos, la glándula suprarrenal secreta adrenalina, que se suma al efecto de otras señales nerviosas simpáticas para originar la respuesta simpática de lucha/huida antes comentada. Una vez que desaparece el peligro, la actividad nerviosa simpática cesa rápidamente; no obstante, debido a que la metabolización de las hormonas suprarrenales por parte del hígado requiere un tiempo, la desaparición de su efecto también puede tardar.

Aunque no se muestra en la figura 8-21, porque la imagen quedaría muy recargada, cada ganglio de la cadena simpática envía fibras a una región concreta de la piel para inervar las glándulas sudoríparas, los músculos y el tejido adiposo. Por el contrario, la piel no recibe inervación parasimpática. Determinados ganglios de la cadena simpática también emiten nervios hacia órganos viscerales específicos. Los ganglios cervicales proporcionan la inervación simpática de los ojos, las glándulas salivales, el corazón y los pulmones. Las señales destinadas al tubo gastrointestinal, los órganos genitales, los riñones y la vejiga se originan en los ganglios torácicos, lumbares y sacros.

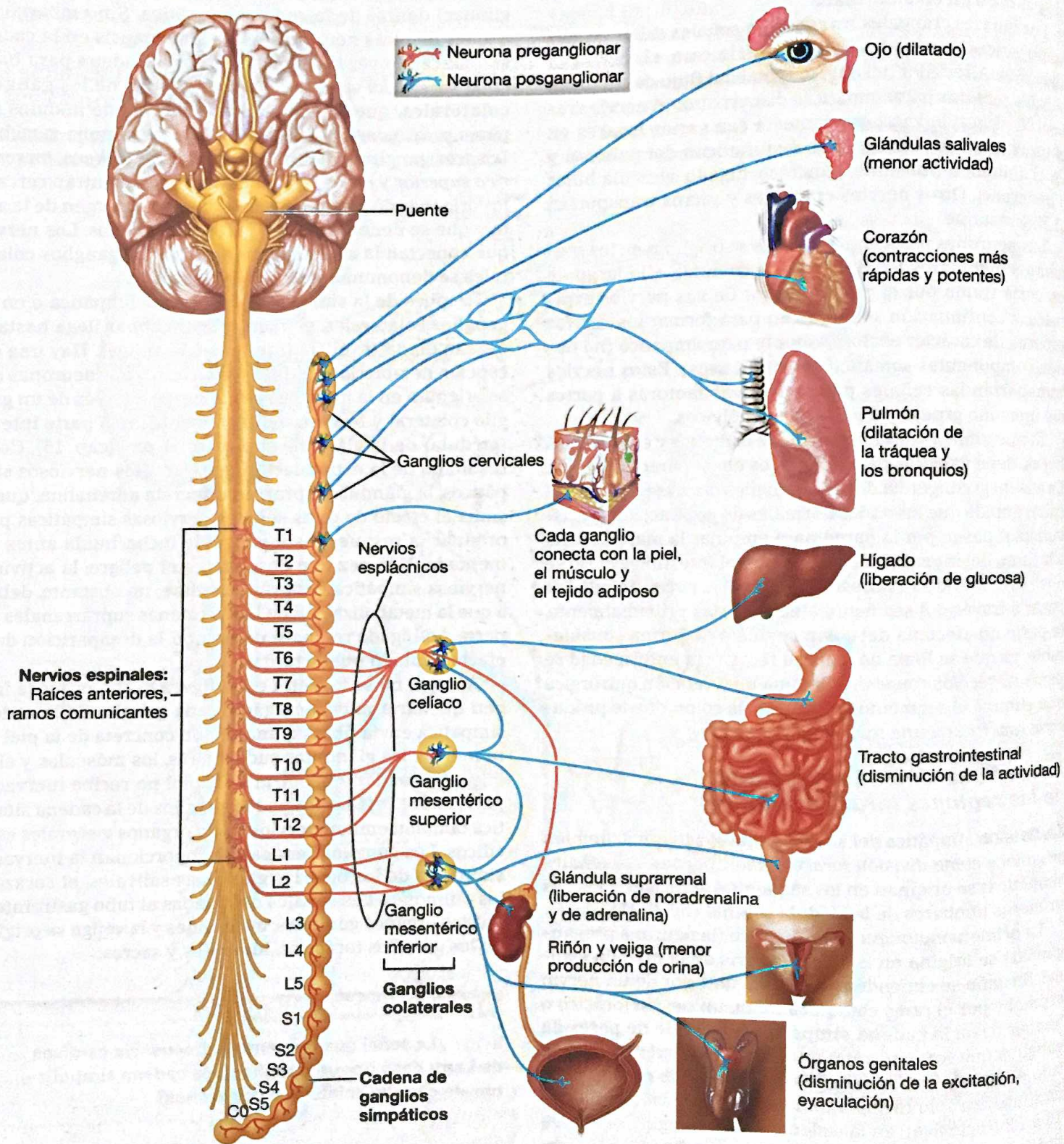
### Apuntes sobre el caso

**8-18** ¿La señal que aumentó la frecuencia cardíaca de Larry pasó por un ganglio de la cadena simpática, por un ganglio colateral o por ambos?

### Las neuronas simpáticas y parasimpáticas se entremezclan en plexos

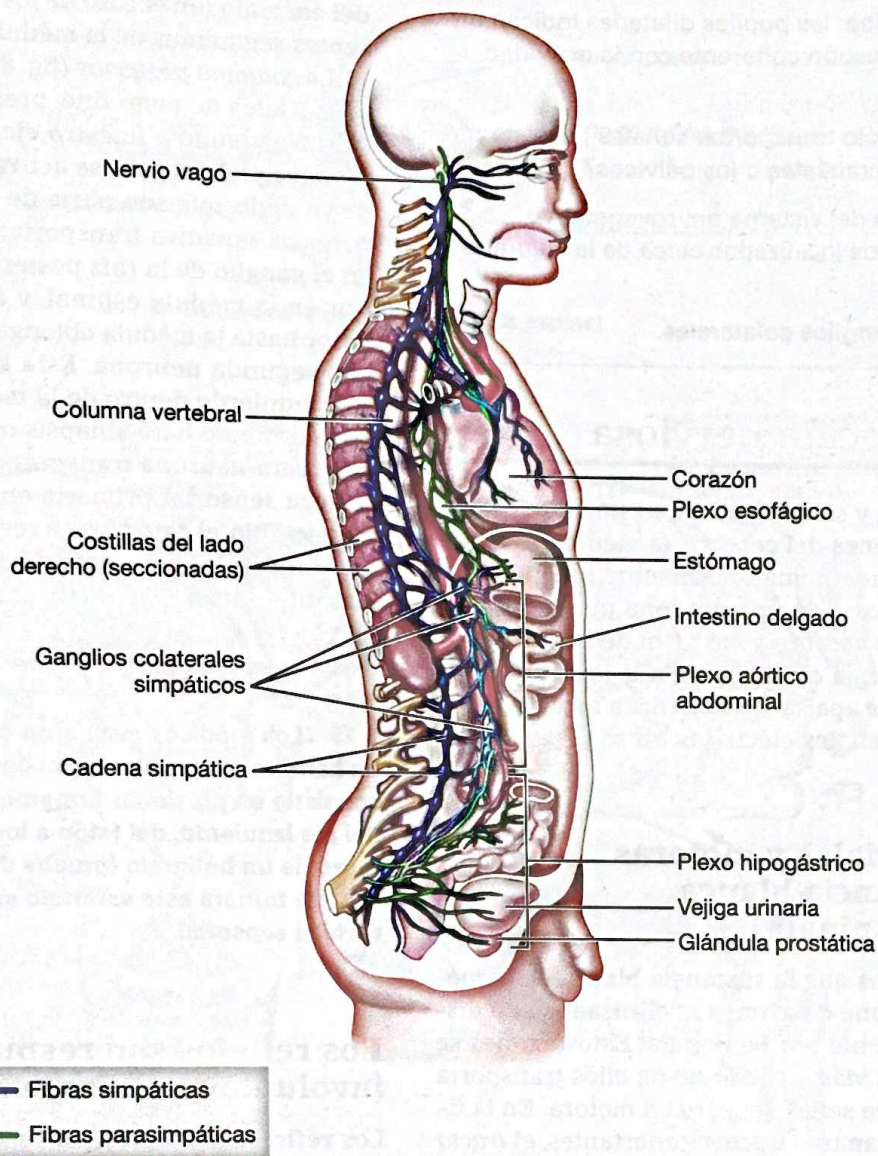
Hay que recordar que los ramos anteriores de los nervios espinales se entrelazan para formar los plexos del sistema nervioso somático. Los nervios autónomos del torso también forman plexos (fig. 8-22). Puesto que los ganglios





**Figura 8-21. División simpática.** Las neuronas preganglionares, que aparecen en rojo, se originan en los segmentos medulares T1-L2 y terminan en uno o más ganglios. Las neuronas posganglionares, que aparecen en azul, se originan en la cadena simpática o en los ganglios colaterales, y terminan en los órganos diana. Observe que la glándula suprarrenal está inervada directamente por una neurona preganglionar. Sólo se muestra un lado. *¿Qué órganos están inervados por los ganglios cervicales?*





**Figura 8-22. Ganglios y plexos autónomos.** La cadena simpática y los ganglios colaterales simpáticos contienen somas neuronales; los plexos nerviosos contienen axones. ¿El plexo hipogástrico inerva la división simpática, la división parasimpática o ambas?

simpáticos se encuentran cerca de la médula espinal y los parasimpáticos cerca del órgano diana, un plexo neurovegetativo contiene una mezcla de fibras simpáticas *postganglionares* y parasimpáticas *preganglionares*, que crean delicadas redes a medida que se entrelazan en su camino hacia los tejidos diana. Dos de esos plexos, el *plexo aórtico abdominal* y el *plexo hipogástrico*, inervan los órganos pélvicos, como se muestra en la figura 8-22. El plexo esofágico, sin embargo, sólo tiene fibras parasimpáticas, las del nervio vago.

sistema neurovegetativo; transmiten información sensorial visceral de los órganos inervados por dicho sistema. Algunas de estas señales (p. ej., distensión de la vejiga) entran en la consciencia, mientras que otras (como la distensión de los vasos sanguíneos por la hipertensión arterial) no lo hacen. Las neuronas sensitivas que transmiten estas señales siguen muchos caminos antes de llegar al SNC; pueden viajar junto a motoneuronas del sistema neurovegetativo que inervan la misma región o incluso junto a neuronas sensitivas somáticas que inervan las regiones de piel cercanas.

### Los nervios sensitivos autónomos están distribuidos de forma difusa

Hasta ahora, nuestro estudio se ha centrado principalmente en los nervios motores neurovegetativos. Sin embargo, los nervios sensitivos autónomos también forman parte del

**Examen sorpresa**

**8-33** ¿Cuántas neuronas son necesarias en las divisiones somática y autónoma del SNP para conectar el SNC con el tejido diana?