

8

Sensopercepción

Leonardo Flavio Medina Guillen

Resumen

El capítulo aborda la anatomía, funciones y vías sensoriales relacionadas con la sensación y percepción, detallando tipos de receptores como mecanorreceptores, termorreceptores, nocirreceptores, electromagnéticos y quimiorreceptores. Se exploran funciones específicas de cada tipo de mecanorreceptor, como la detección de dolor, tacto, presión, movimiento y vibración. Se discute la función de receptores en sistemas como el oído, los receptores tendinosos de Golgi y los de osmolalidad. Además, se examina la anatomía de las vías sensoriales, resaltando la importancia de los nervios craneales y las conexiones con el sistema nervioso central. Se describe el procesamiento de señales gustativas, olfativas y visuales en el cerebro. Se mencionan condiciones clínicas como alucinaciones e ilusiones, así como síntomas sugestivos de lesiones o afecciones sensoriales. En resumen, el capítulo ofrece una visión detallada de los procesos sensoriales, desde la detección de estímulos hasta su procesamiento en el sistema nervioso.

Palabras clave:

Neuroanatomía; Neurofisiología; Sensibilidad; Percepción.

Medina Guillen, L. F. (2024). Sensopercepción. En L. F. Medina Guillen y L. C. Milian (Eds). *Funciones corticales superiores: Neuroanatomía, neurofisiología y su relación disfuncional*. (pp. 183-212). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.140.c136>



Objetivo: detallar los receptores, sus funciones y vías anatómicas por sentidos y sus correlaciones disfuncionales.

Sensación

Definición: información básica que los órganos sensoriales reciben, tanto interna como externamente (Uriarte, 2013).

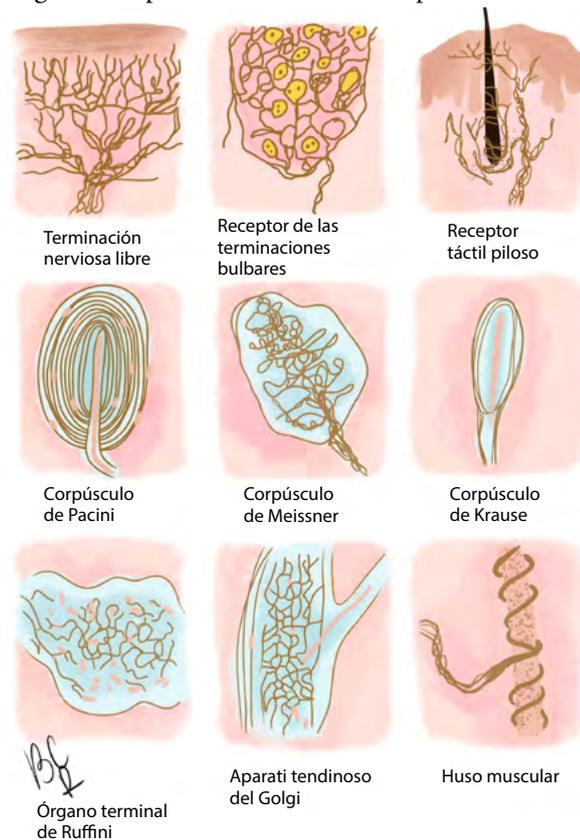
Percepción

Definición: proceso de extracción de información del entorno, involucrando sensibilidad y su interpretación (Uriarte, 2013).

Tipos de receptores

Existen diversos tipos de receptores que se especializan para diferenciar entre distintos estímulos sensitivos cumpliendo la función de sensibilidad diferencial. Cada receptor es muy sensible a una clase de estímulo específico y prácticamente insensible a otros estímulos, de esta forma los conos y bastones son muy sensibles a la luz, pero prácticamente insensibles al frío, calor, presión de los globos oculares o variaciones químicas en sangre —dentro de los parámetros normales—, otro ejemplo son los receptores cutáneos para el dolor casi nunca se estimulan con el tacto o la presión, pero son muy activos al adquirir la intensidad suficiente para dañar a los tejidos. Ahora, si cada receptor conduce distintas modalidades (dolor, tacto, visión, sonido, etc.) pero solo transmiten el impulso, ¿cómo distintas fibras transmiten modalidades diferentes de sensación?, la respuesta radica en la finalización dentro del SNC de cada fascículo y el tipo de estimulación. Por ejemplo, si se estimula una terminación nerviosa de dolor, el individuo percibirá dolor independiente del estímulo que la excite. Esta especificidad de las fibras nerviosas para transmitir una modalidad de sensación se denominó «principio de línea marcada». Dentro de los diversos tipos de receptores se encuentran los mecanorreceptores (terminaciones nerviosas libres, terminaciones bulbares, terminaciones en ramillete, terminaciones de Ruffini, terminaciones encapsuladas, pilo-receptores), termorreceptores, nocirreceptores, receptores electromagnéticos, quimiorreceptores (figura 1) (Guyton & Hall, 2015).

Figura 1. Tipos de terminación receptiva somática.



Fuente: Carranza, 2023.

Mecanorreceptores

Terminaciones nerviosas libres (mecanorreceptor y nocirreceptor)

Detectan dolor, tacto protopático, presión (mecánicos), cosquilleo y sensaciones de frío y calor (térmicos). Las fibras nerviosas aferentes de las terminaciones nerviosas libres se dividen en fibras mielínicas α (producen dolor de latencia corta, que se describe como agudo y punzante) y amielínicas C (producen un dolor sordo y urente, difuso y poco tolerado). Los extremos terminales se encuentran carentes de vaina de mielina y no hay células de Schwann que cubran las puntas. Se encuentran distribuidos en todo el tiempo, se encuentra presente en células epiteliales, cornea, intestino, tejido conectivo de la dermis, ligamentos, articulaciones, conductos haversianos del hueso, membrana timpánica, pulpa dental, músculo, etc. (Snell, 2007; Kandel et al., 2012).

Terminaciones bulbares

Discos de Merkel

Son receptores de tacto de adaptación lenta ($A\alpha$, $A\beta$) que emiten información sobre el nivel de presión ejercida en la piel, deformación mantenida o tacto sostenido (son especialmente sensibles a los bordes, esquinas puntos) y colaboran junto con los corpúsculos de Meissner para de textos con Braille. Ubicados en piel glabra (ejemplo: punta de los dedos) y folículos pilosos; esta fibra nerviosa se continua mediante la epidermis y acaba en una extensión con forma discoide que está en la parte en las células de Merkel, presentes en la zona más profunda de la epidermis. En la piel los discos de Merkel son conocidos como cúpulas táctiles, presentes en la epidermis de los folículos pilosos (Snell, 2007; Purves et al., 2015).

Pilorreceptores

Son fibras nerviosas de adaptación rápida ($A\alpha$, $A\beta$, $A\delta$) que envuelven al folículo en su vaina de tejido conectivo, bajo la glándula sebácea, responden al movimiento sobre el vello, pero no a la presión estática. Se mantiene silente mientras no hay piloerección, cuando el pelo se eriza, se inicia una elevada cantidad de estímulos nerviosos, las aferencias de estos receptores cumplen una función similar en la piel hirsuta a los corpúsculos de Meissner de la piel glabra (Snell, 2007; Felten & Shetty, 2010).

Terminaciones de Ruffini

Son mecanorreceptores de adaptación lenta ($A\alpha$, $A\beta$), participan como receptores de estiramiento (tensión por cizallamiento) y es particularmente sensible a la forma de objetos grandes retenidos en la mano, también señalan movimiento de los dedos y otras articulaciones que mueven la piel suprayacente. Responden al estiramiento de la piel hirsuta y se encuentran específicamente en la dermis (Snell, 2007; Turlough Fitzgerald et al., 2012).

Terminaciones encapsuladas

Corpúsculos de Meissner

Son mecanorreceptores de adaptación rápida ($A\alpha$, $A\beta$), muy sensibles al tacto, facilitan la distinción entre dos elementos punzantes situados en la piel con ubicación

cercana (discriminación táctil de dos puntos), diferenciar texturas, identificar superficies grabadas con relieve como los textos de Braille, propician la sensibilidad al tacto móvil y vibración de baja frecuencia. Se encuentra en las papilas dérmicas de la piel y son especialmente abundantes en los pulpejos de los dedos, manos, pies, genitales externos y pezones. Estos corpúsculos disminuyen considerablemente a lo largo de la vida y es el único mecanorreceptor que no se encuentra en la piel hirsuta (Snell, 2007; Turlough Fitzgerald et al., 2012).

Corpúsculos de Krause

Mecanorreceptor de adaptación rápida peculiarmente sensible a la vibración, puede ser capaz de responder hasta 600 estímulos por segundo. Son de amplia distribución en todo el cuerpo, y son especialmente numerosos en dermis, tejido subcutáneo, capsulas articulares, ligamentos, peritoneo, pleura, pezones y genitales externos (Snell, 2007; Felten & Shetty, 2010).

Corpúsculos de Pacini

Son receptores de adaptación rápida ($A\alpha$, $A\beta$) y responden sobre todo a la vibración de alta frecuencia y tacto breve, en particular ósea, incorporándose al periostio de huesos largos, asimismo, se encuentran en la piel pilosa y glabra. También colaboran con la evaluación perceptual de objetos y su correcta identificación (estereognosia). Estos mecanorreceptores transforman el desplazamiento mecánico y la fuerza en potenciales de acción en potenciales de acción. El inicio y cese de la deformación mecánica favorece la permeabilidad iónica axonal, lo que optimiza la respuesta funcional del corpúsculo de Pacini a estímulos vibratorios (Kandel et al., 2012; Turlough Fitzgerald et al., 2012).

Terminaciones musculares

Husos musculares

Brinda información sensorial al SNC en relación a la longitud muscular y la velocidad de cambio de dicha longitud, la cual sirve para controlar la información muscular y es mediada por canales iónicos. Por su inervación y tipo de receptor se dividen en husos musculares primarios, los cuales reciben las eferencias de longitud y velocidad muscular ($A\alpha$) y secundarios, y conducen estímulos de estiramiento muscular ($A\beta$). Situados en músculo esquelético y son abundantes en dirección a la inserción muscular. Cada huso

mide 1-4mm de longitud y se encuentra envuelto por una capsula de tejido conectivo. Intracapsulares hay 6-14 fibras musculares intrafusales y las fibras situadas fuera del huso es denominada extrafusar (Snell, 2007; Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015).

Los husos musculares poseen dos tipos de inervación sensitiva: anulo espiral (presentes en el ecuador de las fibras intrafusales) y en ramillete (situadas en fibras en cadena nuclear). El estiramiento de las fibras intrafusales resulta en la estimulación de las terminaciones anuloespirales y terminaciones en ramillete, los impulsos son dirigidos a las neuronas aferentes en la medula espinal. Las neuronas motoras gamma que se sitúan en ambos extremos de las fibras intrafusales proveen inervación motora a las fibras intrafusales. Estos estímulos son modulados en centros integradores como la formación reticular, ganglios basales y cerebelo (Snell, 2007; Kandel et al., 2012).

Receptores tendinosos de Golgi

Proporcionan información al SNC sobre la tensión de los músculos y están ubicados entre el músculo esquelético y los tendones (Aα). Estos husos consisten en capsulas fibrosas que envuelven un pequeño haz de fibras tendinosas; son activadas al ser presionadas por las fibras tendinosas circundantes en el interior del huso, al desarrollarse tensión intratendinosa. Se diferencian del huso neuromuscular por ser sensible a los cambios de tensión muscular en lugar de los cambios de longitud (Snell, 2007; Kandel et al., 2012).

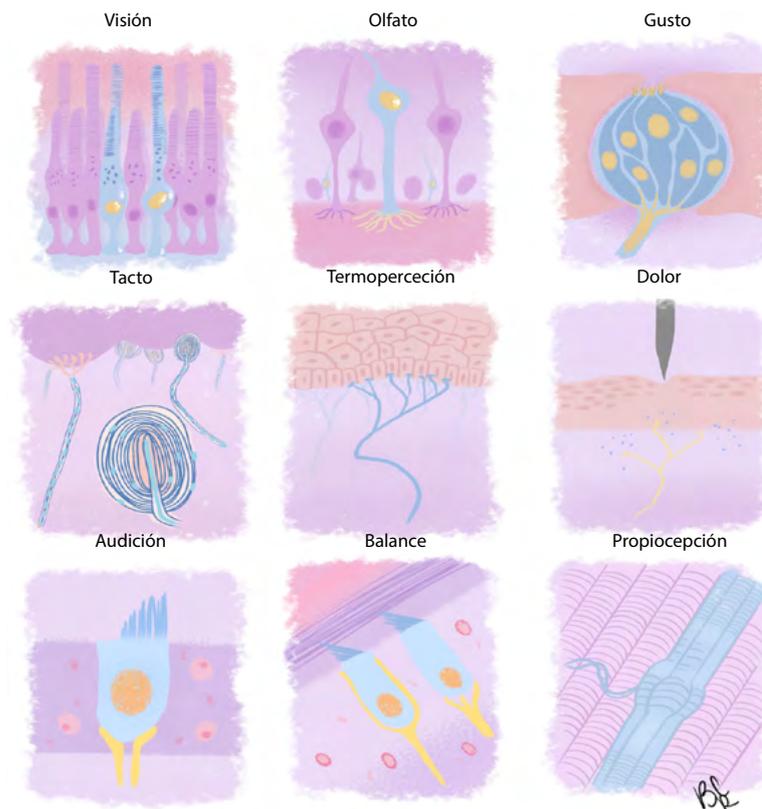
Oído

Posee dos tipos de mecanorreceptores; las células ciliadas internas y externas (figura 2), que transducen el movimiento de la membrana basilar en el oído interno (Kandel et al., 2012).

Equilibrio

Células ciliadas en el laberinto vestibular detectan el movimiento y la aceleración de los fluidos del oído interno para señalar el movimiento y orientación de la cabeza (Kandel et al., 2012).

Figura 2. Receptores según modalidades sensoriales.



Fuente: Carranza, 2023.

Presión arterial

El seno carotideo es una zona ubicada en la arteria carótida que posee terminaciones nerviosas libres y encapsuladas que actúan en respuesta al estiramiento, son estimulados ante el incremento de la presión arterial como barorreceptores, enviando aferencias primarias hacia el núcleo solitario caudal a través del IX par craneal y activan de modo reflejo bradicardia y disminución de la presión arterial (Felten & Shetty, 2010).

Termorreceptores

Sus estímulos son percibidos por las terminaciones nerviosas libres (figura 2). El cuerpo reconoce cuatro distintos tipos de sensación térmica: frío (C), helado ($A\delta$), cálido ($A\delta$) y caliente (C). A pesar de que somos exquisitamente sensibles a los cambios repentinos de temperatura, normalmente no somos conscientes de los amplios cambios en la temperatura de la piel que ocurren cuando se dilatan o cierran los vasos sanguíneos cutáneos. Si la temperatura cambia de 36 a 31 °C no se tienden a percibir cambios, debajo de 31 °C la sensación progresa de helado a frío y de 10-15°C comienza el dolor. Por encima

de 36°C la sensación pasa de cálido a caliente y luego de 45°C se percibe dolor y estos últimos se desactivan con el enfriamiento de la piel (Kandel et al., 2012).

Receptores electromagnéticos

Conos

Son fotorreceptores (figura 2) que responden a la luz brillante, colores y la forma (recibidos en forma de onda electromagnética), y se encuentran abundantemente en la fovea. En los bastones la sustancia fotosensible es la rodopsina, en los conos existen 3 sustancias sensibles al pigmento de color, a los cuales se les denomina pigmentos de color, tienen características funcionales similares con la rodopsina, pero se diferencian por sus diferencias de sensibilidad dentro del espectro (Guyton & Hall, 2015; Purves et al., 2015; Turlough Fitzgerald et al., 2012).

Bastones

Estos fotorreceptores son más numerosos que los conos, solo trabajan en la penumbra u oscuridad, no son sensibles al color, por ende, se encargan de la visión en blanco y negro, son escasos en la parte externa de la fovea y faltan en su centro (Guyton & Hall, 2015; Purves et al., 2015; Turlough Fitzgerald et al., 2012).

Cada fotorreceptor (neurona de primer orden) posee un segmento externo y uno interno, así como un pedículo sináptico. En el segmento externo, la membrana plasmática está plegada formando cientos de discos membranosos que incorporan el pigmento visual rodopsina formado en el segmento interno. La rodopsina se metaboliza en retinol cis, el cual pasa a su forma trans, lo que facilita el flujo de calcio y disminuye la conductancia al sodio, con consecuente hiperpolarización (Felten & Shetty, 2010; Turlough Fitzgerald et al., 2012; Waxman, 2011).

El pedículo sináptico establece conexiones con las neuronas bipolares (neurona de segundo orden) y las prolongaciones de las células horizontales en la capa plexiforme externa, las neuronas bipolares a su vez hacen sinapsis con las neuronas ganglionares de tercer orden, cuyos axones convergen para conformar el nervio óptico. En general, los fotorreceptores se hiperpolarizan por la luz, en la oscuridad, los canales de Na⁺ están abiertos, creando un electrotono que provoca la salida de glutamato desde los pedículos (Felten & Shetty, 2010; Turlough Fitzgerald et al., 2012; Waxman, 2011).

Quimiorreceptores

Gusto

El gusto constituye sobre todo una función de las yemas gustativas de la boca (figura 2), aunque es frecuente que el sentido del olfato contribuye a su percepción. Las texturas se perciben la sensibilidad táctil de la boca y algunas sustancias como la pimienta estimulan las terminaciones del dolor que modifican la experiencia gustativa. Este sentido es relevante ya que le confiere al humano el poder elegir alimentos según sus deseos y necesidades metabólicas (Guyton & Hall, 2015).

La neurofisiología ha permitido reconocer por lo menos 13 receptores químicos en las células receptoras del gusto: 2 receptores para cada uno de los siguientes: sodio, potasio, sabor dulce, sabor amargo; y 1 receptor para: cloruro, adenosina, inosina, glutamato y ion hidrogeno. Para el análisis práctico del gusto, estas capacidades se resumen en cinco categorías generales nombradas «sensaciones gustativas primarias», las cuales son: agrio, salado, dulce, amargo y *umami* (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

El sabor agrio es a causa de la acidez (concentración del ion hidrogeno), siendo su intensidad proporcional al logaritmo de la concentración del ion hidrogeno. El sabor salado es estimulado por sales ionizadas, por ejemplo, el ion sodio, cuyas sensaciones varían de una sal a otra (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

El sabor dulce es desencadenado por diversas sustancias químicas, entre ellas figuran azucares, aldehídos, glicoles, alcoholes, amidas, esterres, cuerpos cetónicos, algunos aminoácidos, proteínas de cadena corta, etc. Así que, tanto el sabor amargo como dulce no están originados por un único agente químico, al igual que el sabor dulce, casi todas las sustancias que lo producen son orgánicas. El sabor amargo de gran intensidad puede producir rechazo hacia la comida, mecanismo esencial en virtud de que ciertas toxinas mortales presentes en plantas venenosas son alcaloides, que por su concentración del ion hidrogeno producen un sabor amargo intenso y consecuente rechazo del alimento (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

El sabor *umami* se deriva de un término en japonés que significa «delicioso», es una sensación gustativa agradable que difiere a los cuatro tipos de sabores anteriores. *Umami* es el sabor predominante de alimentos con l-glutamato, como los concentrados cárnicos y quesos curados (Guyton & Hall, 2015).

Umbral gustativo

El umbral de estimulación para lo agrio es alrededor de 0,0009 M, para los sabores dulces es de 0,01 M, para las sales es de 0,01 M, y para el amargo es de 0,000008 M. Es evidente la elevada sensibilidad para el sabor amargos es debido a que esta sensación cumple una función protectora contra muchas toxinas peligrosas de los alimentos previamente discutido en este capítulo en el apartado de Gusto (Guyton & Hall, 2015).

Olfato

Las células olfatorias (figura 2) son las células receptoras para la sensación del olfato, son células bipolares derivadas en principio del propio SNC. Hay más o menos 100 millones de ellas intercaladas entre las células de sostén. El extremo mucoso de la célula olfatoria forma un botón desde el que nacen de 4-25 cilios olfatorios que miden entre 0,3-200 μm (Guyton & Hall, 2015).

Estos cilios olfatorios favorecen la formación del moco, además están a cargo de responder a olores del aire —al estimularse ante químicos— y posteriormente activar o excitar las células olfatorias. La parte interna de la proteína plegada esta acoplada a proteína G, que al excitarse desencadena en una reacción hacia canales activados para el ion sodio, favorece la permeabilidad del mismo sodio por la membrana. Los iones sodio conductancia en el interior de la membrana celular en sentido positivo, lo que concluye en la excitación de neurona olfatoria posteriormente se dirige hacia el SNC gracias al nervio olfatorio (Guyton & Hall, 2015).

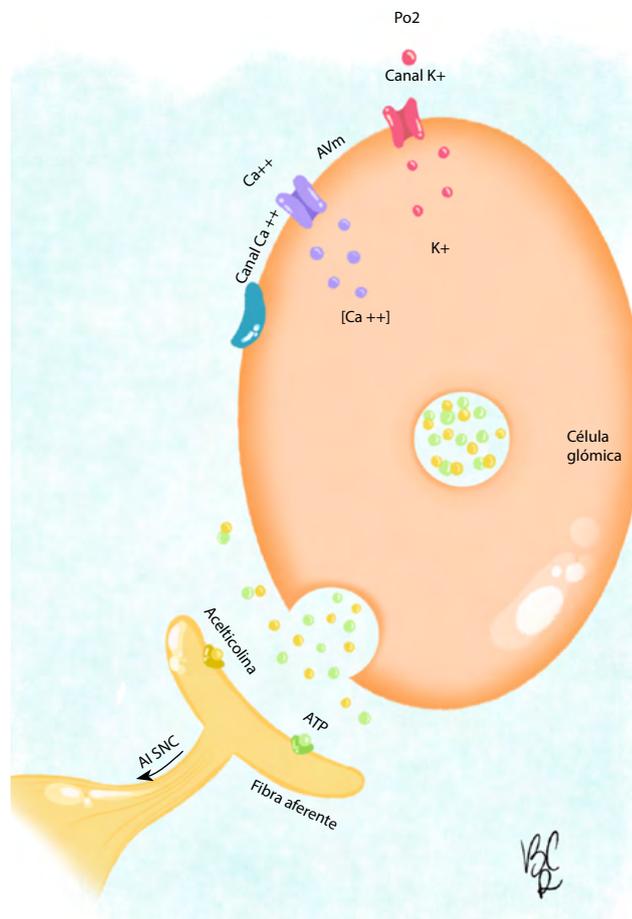
Osmolalidad

El exceso de sal en el líquido extracelular aumenta la osmolalidad, lo que estimula el centro de la sed en el SNC, por consiguiente, favorece la ingesta de agua para normalizar la concentración extra de sal. El aumento de osmolalidad también estimula el eje hipotálamo, hipófisis posterior para secretar hormona antidiurética, lo que provoca reabsorción tubular renal de agua, lo que disminuye la excreción y dilución de orina, pero aumenta el volumen extracelular. A nivel del SNC los receptores de osmolalidad se encuentran en los núcleos supraópticos y paraventricular los cuales transmiten impulsos a la neurohipófisis para que secrete hormona antidiurética (Guyton & Hall, 2015).

Cuerpo carotideo

Es un quimiorreceptor especializado en la detección de oxígeno, dióxido de carbono (en un estado hipóxico) o en menor medida (figura 3), descenso del pH sanguíneo resultado de una hiperventilación, se asocia a axones aferentes del IX par craneal. Valores de PO_2 a 60mmHg favorecen el cierre de los canales de sodio, en consecuencia, ocurre despolarización celular, apertura de canales de calcio y aumento de iones de calcio citosólicos, lo que estimula la liberación transmisores (ATP), que activa fibras aferentes al SNC (núcleo respiratorio dorsal) y estimulan la respiración (Guyton & Hall, 2015; Felten & Shetty, 2010).

Figura 3. Fisiología del cuerpo carotideo.



Fuente: Carranza, 2023.

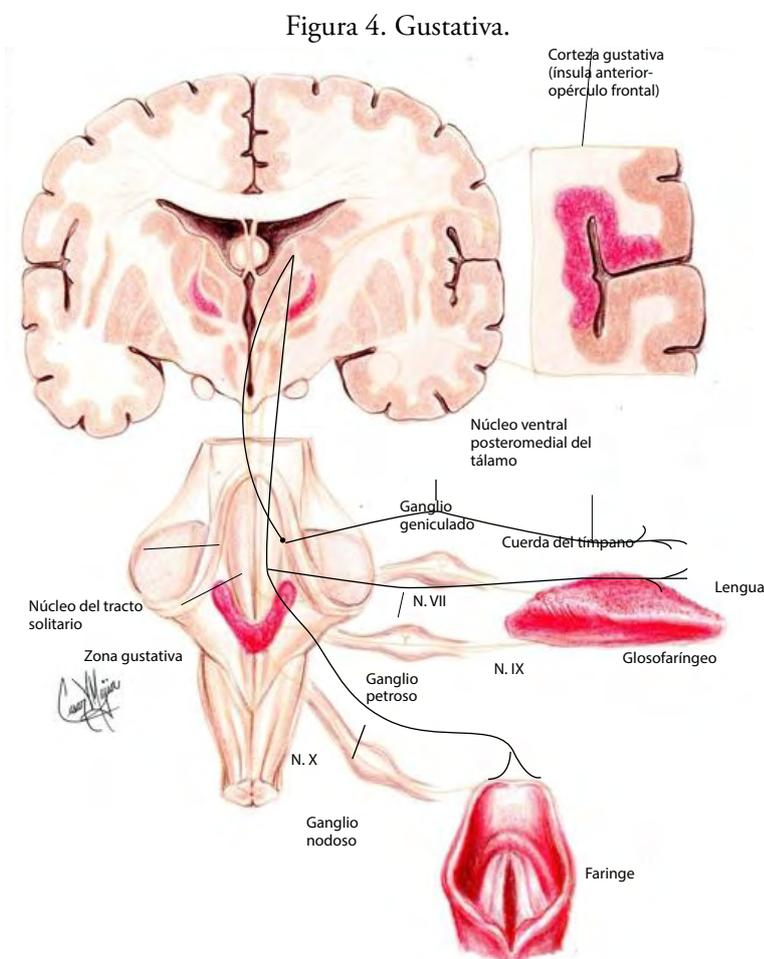
Anatomía: vías sensoriales

Gusto

Los estímulos percibidos por los dos tercios anteriores de la lengua se conducen mediante el nervio lingual, quien emite cierta cantidad de fibras a la cuerda del tímpano,

rama del nervio facial, el cual tiene conexiones con llega al tracto solitario en el tronco encefálico. Las sensaciones gustativas tercio posterior y regiones posteriores de boca y garganta se transmiten mediante el nervio glossofaríngeo hacia el tracto solitario, pero a un nivel un poco más inferior. Finalmente, unas cuantas señales gustativas se conducen hacia el tracto solitario desde la base de la lengua y otras de la región faríngea por el nervio vago (figura 4) (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

Una vez las fibras gustativas hacen sinapsis en los núcleos del tracto solitario, emiten estímulos al núcleo ventral posteromedial del tálamo. Desde el tálamo, las neuronas de tercer orden tienen interconexiones con el polo inferior de la circunvolución poscentral en la corteza cerebral parietal y al área insular opercular adyacente, la cual está adyacente al área somática cerebral que recibe las eferencias táctiles provenientes de la lengua (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

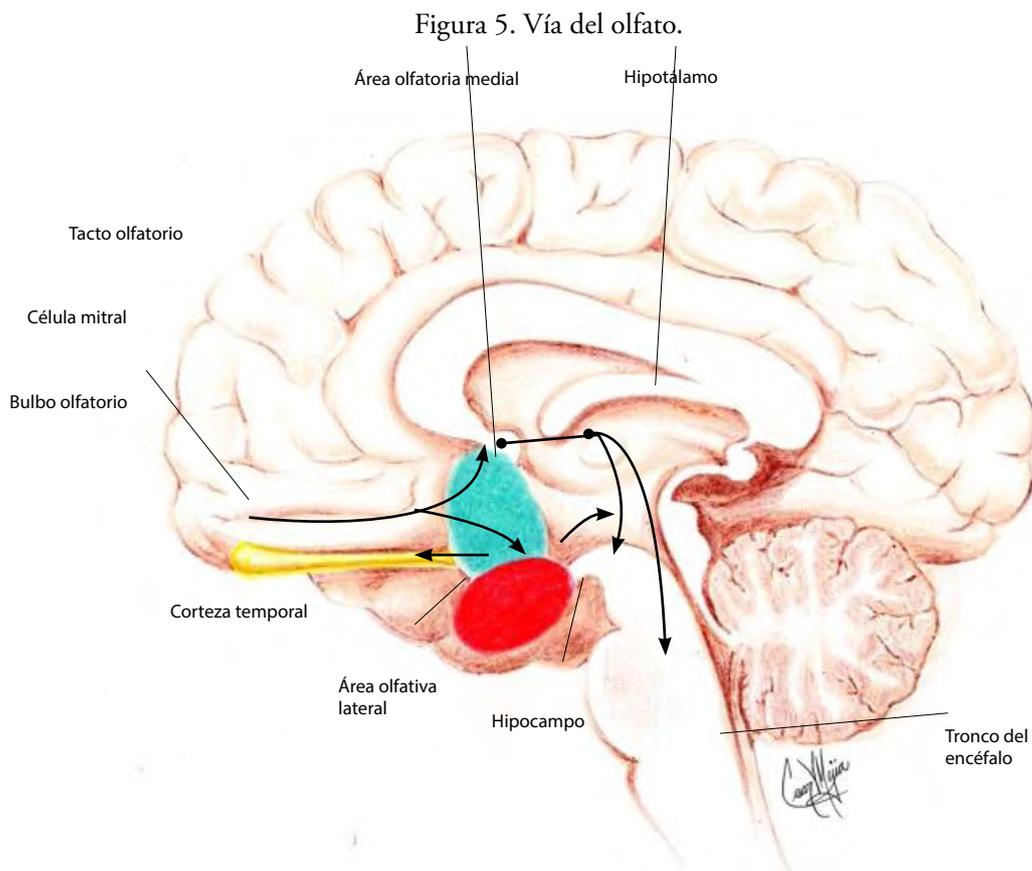


Fuente: Mejía, 2023.

Desde el tracto solitario, se envían señales gustativas directamente a los núcleos salivares superior e inferior, quienes envían órdenes dirigidas a las glándulas submandibular, sublingual y parótida quienes modulan la secreción salivar durante la ingesta y digestión (Guyton & Hall, 2015).

Olfato

Las porciones olfatorias del encéfalo figuraron entre las primeras estructuras cerebrales desarrolladas en los primeros animales primitivos y gran parte del cerebro se fue formando alrededor de este origen olfatorio (figura 5). Durante la evolución, una porción de este cerebro dedicado al olfato empezó a formar parte de las estructuras encefálicas basales que controlaban las emociones y otros aspectos de la conducta humana (Guyton & Hall, 2015).



Fuente: Mejía, 2023.

Cuadro 1. Clasificación de los receptores sensoriales.

Sistema sensorial	Modalidad	Estimulo	Tipo de receptor	Celulas receptoras
Visual	Visión.	Luz (fotones).	Fotorreceptor.	Conos y bastones.
Auditivo	Audición.	Sonido (ondas sonoras).	Mecanorreceptor.	Células ciliadas en cóclea.

Sistema sensorial	Modalidad	Estimulo	Tipo de receptor	Celulas receptoras
Vestibular	Movimiento de la cabeza.	Gravedad, aceleración y movimientos de la cabeza.	Mecanorreceptor.	Células ciliadas en laberinto vestibular.
Somatosensorial				Células ganglionares en raíz craneal y dorsal en:
	Tacto.		Mecanorreceptor.	Piel.
	Propiocepción.		Mecanorreceptor.	Husos musculares y capsulas articulares.
	Dolor.		Termorreceptor, mecanorreceptor y quimiorreceptor.	Todos los tejidos excepto el sistema nervioso central.
	Picor.		Quimiorreceptor.	Piel.
	Visceral.		Termorreceptor, mecanorreceptor y quimiorreceptor.	Tracto gastrointestinal, vejiga urinaria y pulmones.
Gustativo	Gusto.		Quimiorreceptor.	Papilas gustativas.
Olfatorio	Olfato.		Quimiorreceptor.	Neuronas sensoriales olfatorias.

Fuente: Kandel et al., 2012.

Las fibras nerviosas olfatorias (cuadro 1) que bajan desde el bulbo se les denomina I par craneal o tracto olfatorio, el cual penetra al encéfalo a nivel del mesencéfalo y el cerebro, se termina dividiendo en dos vías; el área olfatoria medial y área olfatoria lateral. La primera estructura representa un sistema olfatorio primitivo (presente en áreas primitivas como lamerse los labios, salivar) el cual está conformado por núcleos septales, siendo la parte del cerebro más vinculada con el comportamiento básico, mientras que el área olfatoria lateral conforma el sistema olfatorio antiguo y el sistema moderno (útil para reflejos olfatorios condicionados más complejos). El sistema olfatorio antiguo se compone por la corteza prepiriforme, piriforme, y la porción cortical de los núcleos amigdalinos, desde las cuales se dirigen a hacia todas las zonas del sistema límbico, en especial, áreas menos primitivas como el hipocampo, conexiones importantes para aprender a disfrutar los alimentos o aborrecerlos con relación a experiencias vividas. La vía moderna atraviesa el tálamo, pasando por el núcleo dorsomedial dirigiéndose posteriormente a la corteza orbitofrontal, interviniendo en el análisis consciente de los olores (Guyton & Hall, 2015).

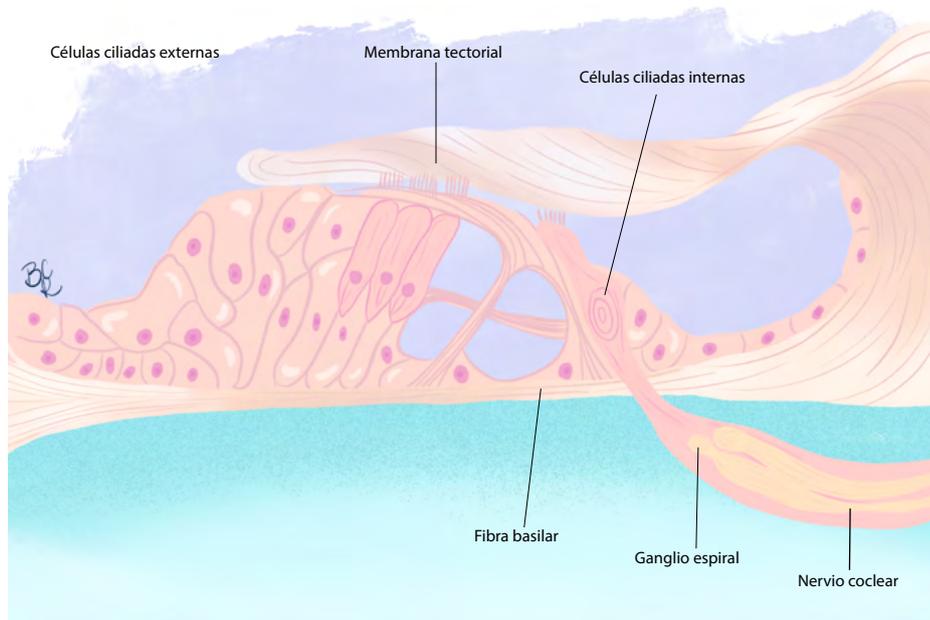
Control centrifugo de la actividad del bulbo olfatorio

Las porciones olfatorias del cerebro dirigen ordenes hacia el bulbo olfatorio (es decir, «centrífugo», desde el centro hasta la periferia), dicha conexión se encarga de enviar señales inhibitorias a las células mitrales y bulbo olfatorio. Esta retroalimentación negativa constituye acentúa la distinción entre olores (Guyton & Hall, 2015).

Audición

La membrana timpánica se fija al manubrio del martillo, consecuentemente pasa el impulso sonoro al yunque y luego al estribo el cual descansa en la ventana oval de la cóclea, alcanzando la ramba vestibular. El órgano de Corti es el órgano receptor que genera impulsos nerviosos a partir de la vibración de la membrana basilar. Los receptores del órgano de Corti son las células ciliadas, una fila de células ciliadas internas y cuatro filas de células ciliadas externas que son estimuladas y movidas por endolinfa (figura 6). Las bases y caras laterales de las células ciliadas internas hacen sinapsis con una red de terminaciones nerviosas del nervio coclear, siendo esenciales para la detección del sonido (Guyton & Hall, 2015; Sadock & Sadock, 2008).

Figura 6. Terminaciones receptoras auditivas.

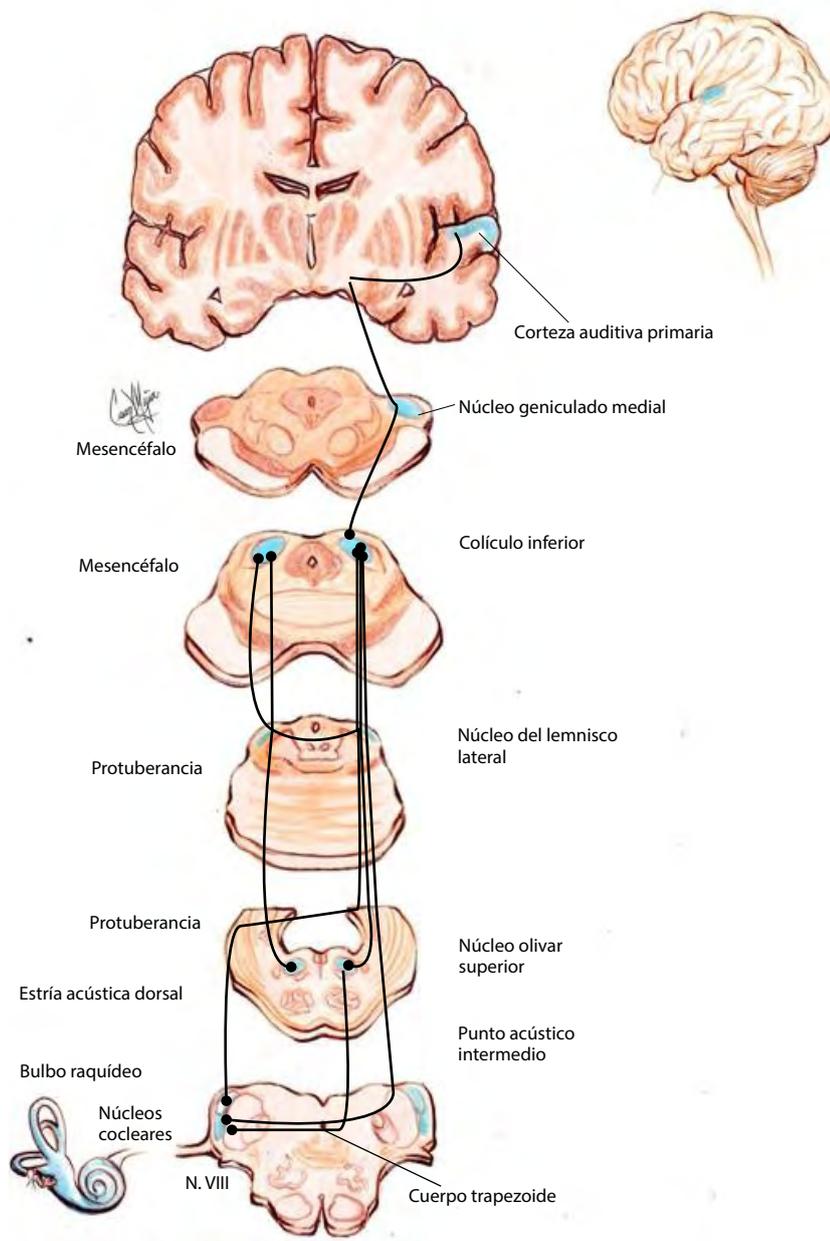


Fuente: Carranza, 2023.

Una vez penetra a los núcleos cocleares dorsales y ventrales ubicados en la parte superior del bulbo raquídeo se cruzan en dirección contralateral del tronco donde

posteriormente conforman el núcleo olivar superior, unas cuantas fibras llegan a su núcleo olivar homolateral, desde este núcleo asciende al lemnisco lateral, aunque muchos se lo saltan y se dirigen directamente al folículo inferior, luego se continúa con el núcleo geniculado medial donde casi todas las fibras auditivas hacen sinapsis. Finalmente, la vía sigue mediante la radiación auditiva hasta la corteza auditiva, en la circunvolución superior del lóbulo temporal (figura 7) (descrita en el capítulo 3) (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

Figura 7. Vía auditiva.



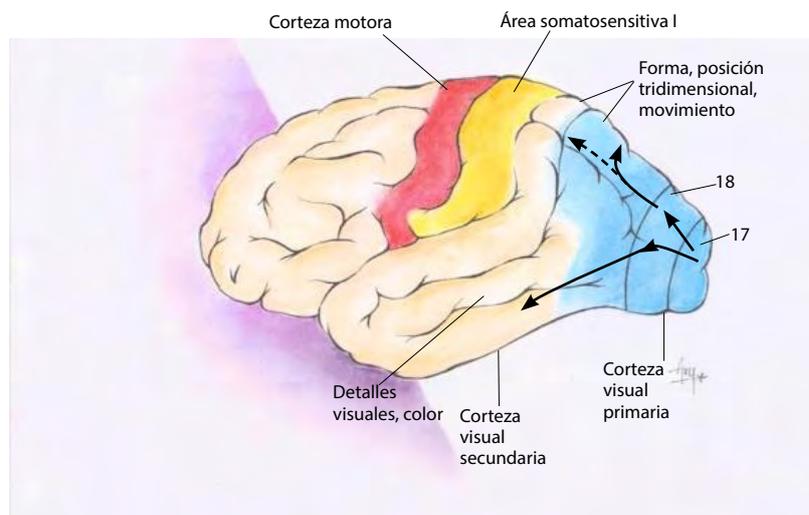
Fuente: Mejía, 2023.

Vista

Las vías visuales pueden dividirse a grandes rasgos en:

Sistema visual nuevo: fibras nerviosas parten de la retina mediante cada nervio óptico, los cuales se entrecruzan en el quiasma óptico, y se continúa como tracto óptico o cintillas ópticas para llegar al núcleo geniculado lateral dorsal del tálamo (cumple la función de «filtrar» la información que se dirige a la corteza visual por medio de las fibras corticofugas [vuelven en sentido retrogrado de la corteza visual primaria hasta el núcleo geniculado lateral] y zonas reticulares del mesencéfalo, en donde hacen sinapsis (capas II, III y V reciben señales de la mitad lateral del mismo lado; capas I, IV, VI reciben la mitad medial de la retina del ojo contralateral), luego continúan estas fibras geniculocalcarinas hacia las radiaciones ópticas (tracto geniculo-calcarino) y posteriormente a la corteza visual primaria (estriada), en el área correspondiente de la cisura calcarina del lóbulo occipital medial, en el cual también se comunica con las áreas visuales secundarias o de asociación, tomando usualmente dos vías; 1) hacia el área temporal medial posterior-corteza occipitoparietal: en él ocurre el análisis de la posición tridimensional, la forma global y el movimiento de objetos (los estímulos se originan de las células ganglionares Y de la retina) y 2) hacia regiones inferior, ventral y medial de las cortezas occipital y temporal que facilitan el análisis de detalles visuales y color. Este sistema es responsable de la percepción de los aspectos de forma visual, colores y visión consciente (figura 8) (Guyton & Hall, 2015).

Figura 8. Vía visual.



Fuente: López, 2023.

El núcleo geniculado lateral dorsal del también cumple sus funciones según tamaño y velocidad neuronal, en donde, las capas I y II (capas magnocelulares) reciben señales de las células ganglionares de la retina de tipo Y, proporcionando una vía de conducción rápida hacia la corteza visual en el cual se transmite únicamente estímulos sensoriales en blanco y negro y su información espacial punto por punto resulta burda, a diferencia de las capas III-VI (capas parvocelulares) las cuales reciben células ganglionares retinianas de tipo X, que transportan color y llevan visión espacial precisa, resultando por ende, en una velocidad de conducción lenta (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012).

Sistema antiguo: las fibras visuales se dirigen hacia vías más antiguas del encéfalo (Guyton & Hall, 2015):

1. Tractos ópticos-núcleo supraquiasmático del hipotálamo: colaboran con la regulación de los ritmos biológicos.
2. Tractos ópticos-núcleos pretectales en el mesencéfalo: suscitan movimientos reflejos oculares con el fin de enfocar la atención a objetos relevantes del entorno. Activan el reflejo fotomotor pupilar.
3. Tractos ópticos-colículo superior: facilita el control de movimientos direccionales rápidos de ambos ojos.
4. Tractos ópticos-núcleo geniculado lateral ventral del tálamo y regiones basales adyacentes del cerebro: participa en el control de la conducta.

Somatosensorial

Clasificación

Dentro de las modalidades somatosensoriales se encuentra la propiocepción, brindada por músculo esquelético, capsulas articulares y piel, permitiendo la consciencia postural, particularmente de las extremidades y cabeza (Kandel et al., 2012).

La exterocepción es la sensación de interacción directa con el mundo externo a medida que afecta el cuerpo, siendo el principal modo de exterocepción el tacto, que incluye sensaciones de contacto, presión, movimientos, vibraciones, sensaciones térmicas (calor y frío) y nocicepción (es el principal componente incentivo de la supervivencia, retirada o lucha), y se utiliza para identificar objetos. Los componentes sensoriales y motores están íntimamente conectados anatómicamente y son importantes para guiar el comportamiento (Kandel et al., 2012).

Y como tercer componente de sensación somática está la intercepción, siendo el sentido de la función de los sistemas de órganos principales del cuerpo y su estado interno. Aunque la mayoría de los eventos registrados por los receptores viscerales no se convierten en sensaciones conscientes, resultan cruciales para regular las funciones autónomas, particularmente en el sistema cardiovascular, respiratorio, digestivo y renal, participando a su vez en la excitación sexual y copulación. Los interorreceptores son principalmente quimiorreceptores, que controlan la función de los órganos a través de indicadores como pH y gases sanguíneos (Kandel et al., 2012).

Para comprender el tacto se debe conocer la clasificación de los nervios sensitivos, dividida según la cantidad de mielina, diámetro axonal y velocidad de conducción (cuadro 2) (Guyton & Hall, 2015 ; Kandel et al., 2012).

Cuadro 2. Clasificación de las fibras sensoriales de los nervios periféricos.

	Nervio muscular	Tipo de fibra	Diámetro	Velocidad de conducción
Mielinizadas	I	A α	12-20 μ m	72-120m/s
	II	A β	6-12 μ m	36-72 m/s
	III	A δ	1-6 μ m	4-36 m/s
No mielinizadas	IV	C	0-2-1.5 μ m	0.5-2 m/s

Fuente: Kandel et al., 2012.

Las fibras nerviosas se han agrupado mediante su inervación en cuatro grupos (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012):

Grupo I: inervan receptores de huso muscular, órganos tendinosos de Golgi que indican longitud del músculo y fuerza contráctil.

Grupo II: inervan terminaciones secundarias del huso, receptores en capsulas articulares (colaborando a su vez con la propiocepción) e inervan los mecanorreceptores que responden al tacto.

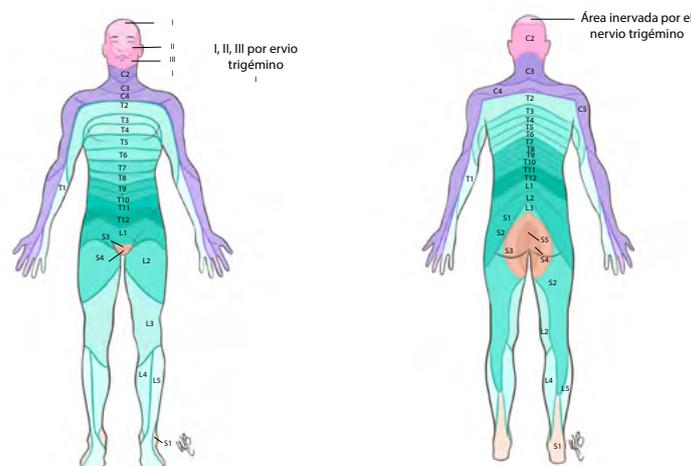
Grupo III: fibras aferentes mielinizadas más pequeñas, median estímulos térmicos y nocivos.

Grupo IV: fibras aferentes no mielinizadas, también median la termoalgesia, representan más de la mitad de las fibras sensitivas en los nervios periféricos, así como las fibras autonómicas postganglionares (viscerales).

El médico aprovecha la distribución de las velocidades de conducción de los nervios aferentes en los nervios periféricos para diagnosticar enfermedades que tienen como consecuencia la degeneración sensorial o pérdida de la neurona motora como sucede en la pérdida selectiva de axones de gran diámetro en la neuropatía diabética (Kandel et al., 2012).

Las fibras nerviosas originados de los somitas y que al momento del desarrollo inervan en una distribución segmentaria de los nervios somáticos, quienes transmiten las diversas submodalidades de cada dermatoma (zona inervada por cada nervio espinal) (figura 9) están agrupados en nervios periféricos a medida que entran en los ganglios de la raíz dorsal, sin embargo, a medida que las fibras salen de los ganglios y se aproximan a la medula espinal, las fibras se separan en divisiones medial y lateral. Como regla general, las fibras $A\alpha$ terminan en o cerca del hasta ventral, las fibras $A\beta$ terminan en las capas intermedias del asta dorsal, y las más pequeñas, $A\delta$ y C terminan en la porción más dorsal de la materia gris espinal. Un ejemplo clásico de afección por dermatomas es el herpes zoster (Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015).

Figura 9. Dermatomas.

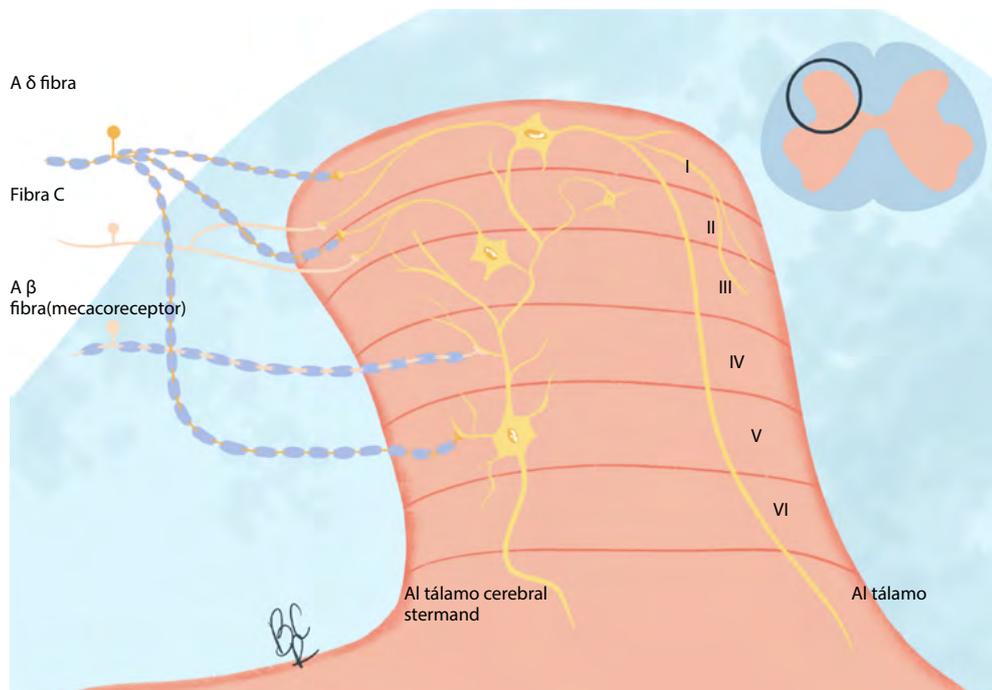


Fuente: Carranza, 2023.

Esta materia gris se divide en 10 láminas de Rexed (capas) (figura 10) según la composición de las fibras y células. La lamina I recibe fibras $A\delta$ y C, transmitiendo información sobre estímulos nocivos, térmicos o viscerales. Las láminas II y III son interneuronas que reciben entradas $A\delta$ y C haciendo conexiones excitadoras o inhibitorias en las neuronas I, IV y V que se proyectan a los centros cerebrales superiores. Las dendritas de las láminas III y V son los objetivos principales de los grandes receptores sensoriales mielinizados ($A\beta$) de los mecanorreceptores cutáneos, las neuronas de la lámina V

usualmente son multimodales (estímulos mecánicos de bajo umbral, estímulos nocivos y viscerales), por lo que se les denomina neuronas de amplio rango dinámico. Las fibras C tienen proyecciones generalizadas que terminan en las láminas I, II, V, X ipsilateral, V y X contralateral. La extensa distribución espinal de las fibras C parece ser la responsable de la mala localización de las sensaciones de dolor visceral. Las aferencias de las vísceras pélvicas hacen conexiones con la lámina X de los segmentos espinales L5-S1. Las neuronas de la lámina X proyectan sus axones a las columnas dorsales, hacia los núcleos de Gracilis (Kandel et al., 2012).

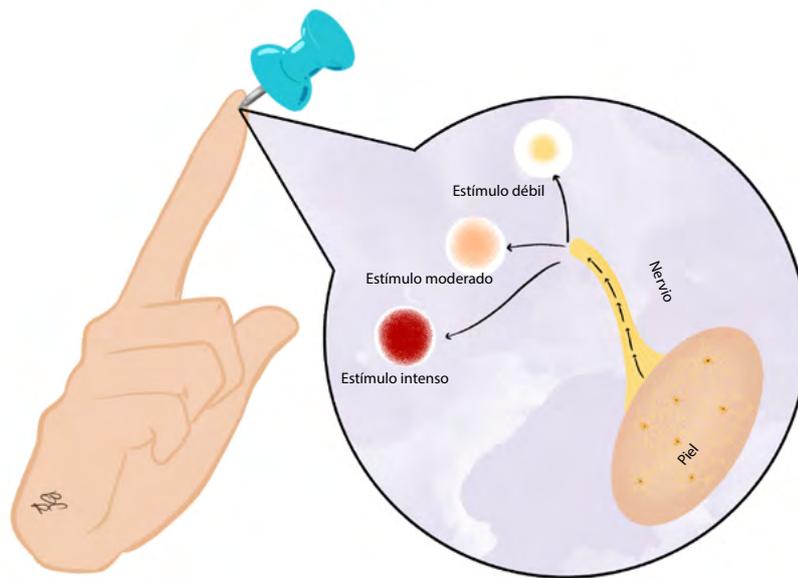
Figura 10. Láminas de Rexed.



Fuente: Carranza, 2023.

Al tratar del tacto, se debe dividir en sensibilidad superficial y profunda, en la sensibilidad superficial se tiene el dolor, los receptores del dolor ya fueron descritos al inicio del capítulo, sin embargo, uno de los puntos importantes que rescatar en la semiología del dolor es la intensidad, ya que se originan según sumación espacial y temporal que determinan su intensidad. La sumación espacial (figura 11) transmite una intensidad creciente de una señal mediante un mayor número de fibras, cada una de las fibras se ramifican en terminaciones nerviosas libres, disminuye su concentración al dirigirse hacia la periferia y tienden a agruparse en el centro, por lo que, si llega a suceder un pinchazo en el centro de su del campo receptor, será mucho mayor que si sucede en la periferia. La sumación temporal es simplemente el aumento de intensidad según se acelere la frecuencia del impulso nervioso (Guyton & Hall, 2015).

Figura 11. Sumación espacial.



Fuente: Carranza, 2023.

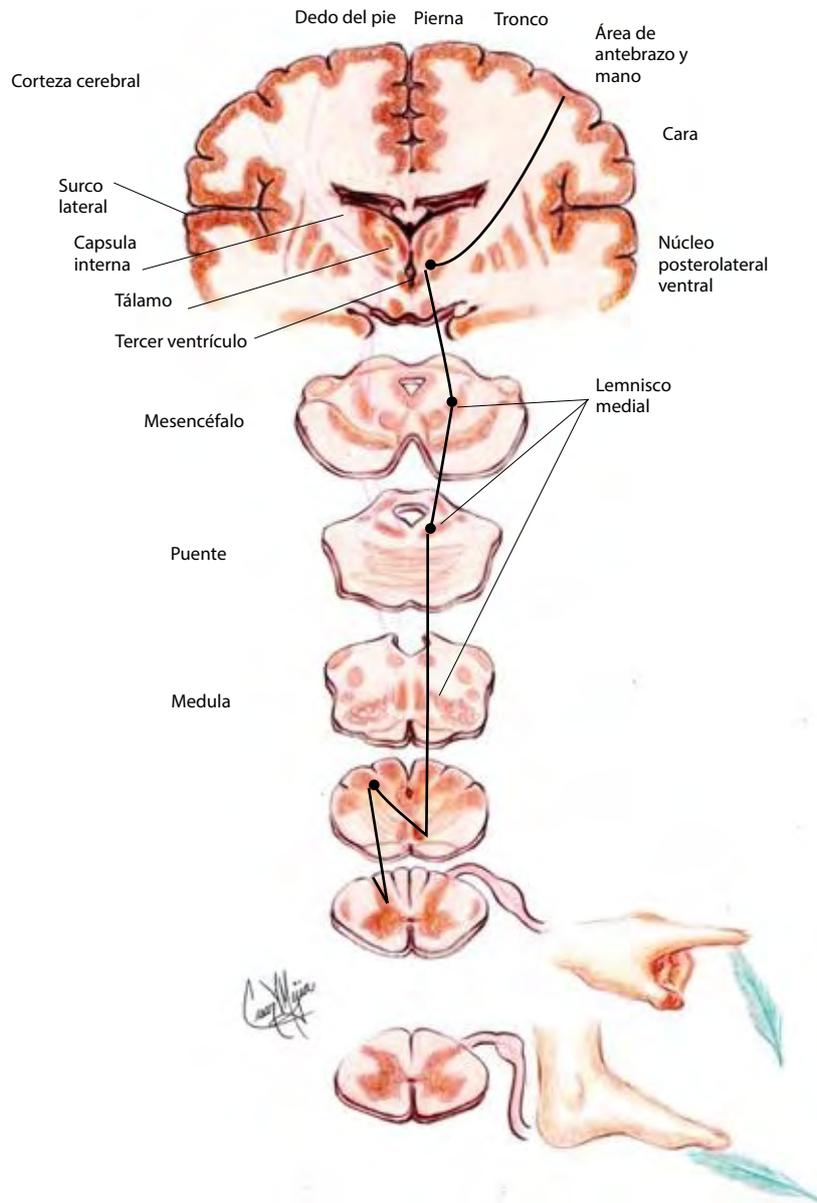
La información somatosensorial de piel, músculos, capsulas articulares y vísceras se transmite por las neuronas del ganglio de la raíz dorsal que inervan las extremidades y el tronco, o por las neuronas sensoriales del trigémino que inervan las estructuras craneales (cara, labios, cavidad oral, conjuntiva y duramadre). Estas neuronas sensoriales realizan las funciones de transducción y codificación, y la transmisión de señales al SNC. Las neuronas del ganglio de la raíz dorsal son pseudounipolares, el axón de una neurona del ganglio de la raíz dorsal tiene dos ramas, una se proyecta hacia la periferia y otra hacia el SNC. Los terminales periféricos de diferentes neuronas contienen receptores especializados para determinados estímulos, los cuales se diferencian según la morfología y selectividad del estímulo. Las ramas centrales terminan en la medula espinal o tronco encefálico, formando las primeras sinapsis de las vías somatosensoriales (Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015).

La mayor parte de información proveniente de las porciones somáticos corporales entra a la medula espinal, por medio de las raíces dorsales de los nervios raquídeos, y se transmiten mediante dos vías (Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015):

1. Sistema dorsal-lemnisco medial (figura 12): transporta señales ascendentes por las columnas dorsales de la medula espinal hacia el bulbo raquídeo en el encéfalo, luego hacen sinapsis y cruzan de forma contralateral hasta llegar al tálamo (lemnisco medial) y su velocidad es mayor (30-110m/s). Transmite (Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015):

- a. Sensaciones de tacto demandantes de un alto grado de localización del desencadenante del impulso.

Figura 12. Sistema dorsal lemnisco medial.

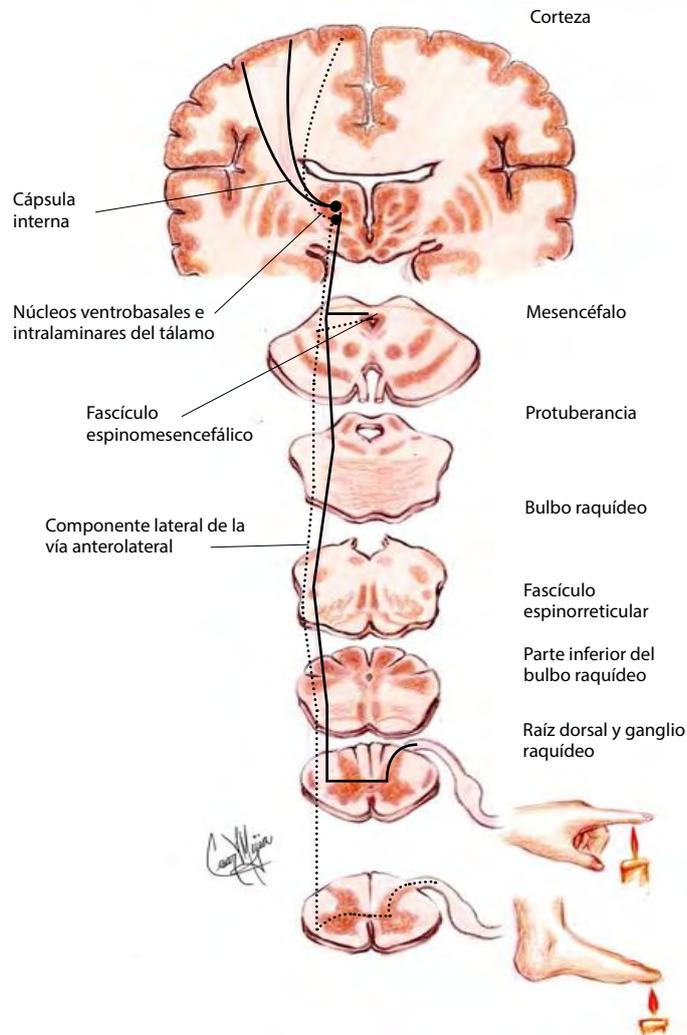


Fuente: Mejía, 2023.

- b. Distinción entre dos puntos.
- c. Sensaciones de tacto que necesitan con detalle la diversidad de grados de intensidad.
- d. Sensaciones fásicas, como las vibratorias.
- e. Sensaciones indicativas de movimientos contra la piel.
- f. Sensaciones posicionales desde las articulaciones: mediante husos musculares, corpúsculos de Pacini y terminaciones de Ruffini.

- g. Sensaciones de presión que requieren detalle en la estimación de su intensidad.

Figura 13. Sistema anterolateral.



Fuente: Mejía, 2023.

Las fibras aferentes primarias que llevan información sobre el tacto entran a la columna ipsilateral, y sin cruzar, ascienden a la medula. Las fibras de la parte inferior del cuerpo se extienden en el fascículo Gracilis y terminan en el núcleo gracilis, mientras que las fibras de la parte superior del cuerpo se extienden por el fascículo cuneiforme y terminan en el núcleo cuneiforme. Las neuronas de los núcleos cuneiforme y Gracilis se cruzan hacia el otro lado y ascienden al tálamo, formando el paquete del lemnisco medial, dirigiéndose específicamente hacia el núcleo ventral posterolateral (el cual cumplirá funciones de 1. Procesamiento local dentro del núcleo, 2. Modulación de entradas del tronco cerebral serotoninérgicos y noradrenérgicos, 3. Retroalimentación inhibitoria del núcleo reticular, 4. Retroalimentación excitadora del neocórtex), donde se dirigirán posteriormente a la

corteza somatosensorial primaria (área 3, 1 y 2 de Brodmann) en donde todas las partes del cuerpo estarán representadas somatotópicamente, y el área de corteza dedicada será directamente proporcional a la densidad de inervación y no estará ligada directamente al tamaño o masa del área corporal (Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015; Sadock & Sadock, 2008).

2. Sistema anterolateral (figura 13): al entrar mediante las raíces dorsales, hacen sinapsis en las astas dorsales de la sustancia gris medular, después cruzan al lado opuesto y ascienden a través de sus fascículos espinotalámicos anterior y lateral, su terminación se da en el tranco encefálico (formación reticular en el tronco encefálico) y tálamo (complejo ventrobasal y núcleos intralaminares), y sus eferencias viajan a velocidades menores (8-40m/s). Transmite (Guyton & Hall, 2015):

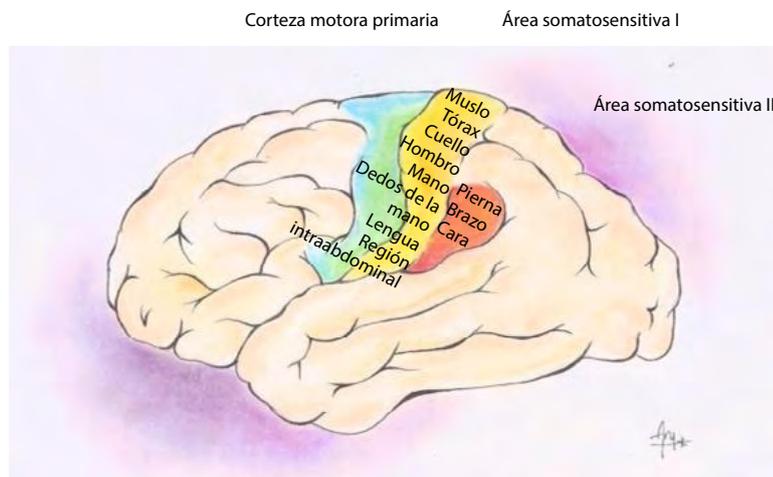
- a. Dolor.
- b. Sensaciones térmicas, incluidas las de calor y de frío.
- c. Sensaciones de presión y de tacto grosero capaces únicamente de una burda.
- d. Facultad de localización sobre la superficie corporal.
- e. Sensaciones de cosquilleo y de picor.
- f. Sensaciones sexuales.

Ambos sistemas presentan un acusado grado de orientación espacial, siendo evidente su diferencia de información transmitida por la velocidad axonal. En caso de necesitarse con rapidez cierta orientación espacial, se acude a la columna dorsal-lemnisco medial, cuando se requiere de información con gran fidelidad espacial, se utiliza el sistema anterolateral (Guyton & Hall, 2015). Posteriormente se continúan las fibras hasta llegar a la corteza parietal anterior, a donde llegan casi por completo la recepción e interpretación, en el área somatosensitiva, la cual se dividirá en I (área 3 [procesamiento básico de información táctil], 1 [procesamiento más complejo o de orden superior] y 2 de Brodmann [información táctil y posicional convergen para el reconocimiento táctil de objetos]) y II (áreas 5 y 7 de Brodmann), según el origen de la información (figura 14) (Guyton & Hall, 2015; Kandel et al., 2012; Purves et al., 2015).

En este proceso intervienen interneuronas inhibitorias, que modulan la información sensorial que se transmite hacia el cerebro y los comandos motores que descienden del cerebro a las neuronas motoras espinales. Las columnas dorsales contienen solo axones

descendientes, mientras que las columnas laterales y ventrales incluyen tanto axones ascendentes como que descienden del tronco cerebral y del neocórtex, que inervan a las interneuronas espinales. Durante este ascenso, se van incrementando el número de axones que entran al cordón y los axones descendentes van disminuyendo, por lo que se encuentra mayor cantidad de sustancia blanca a niveles cervicales y menor a nivel sacro (figura 15). A nivel ventral también se verá asociado el grosor al nivel de destreza de determinada region (Kandel et al., 2012).

Figura 14. Áreas somatosensitivas.



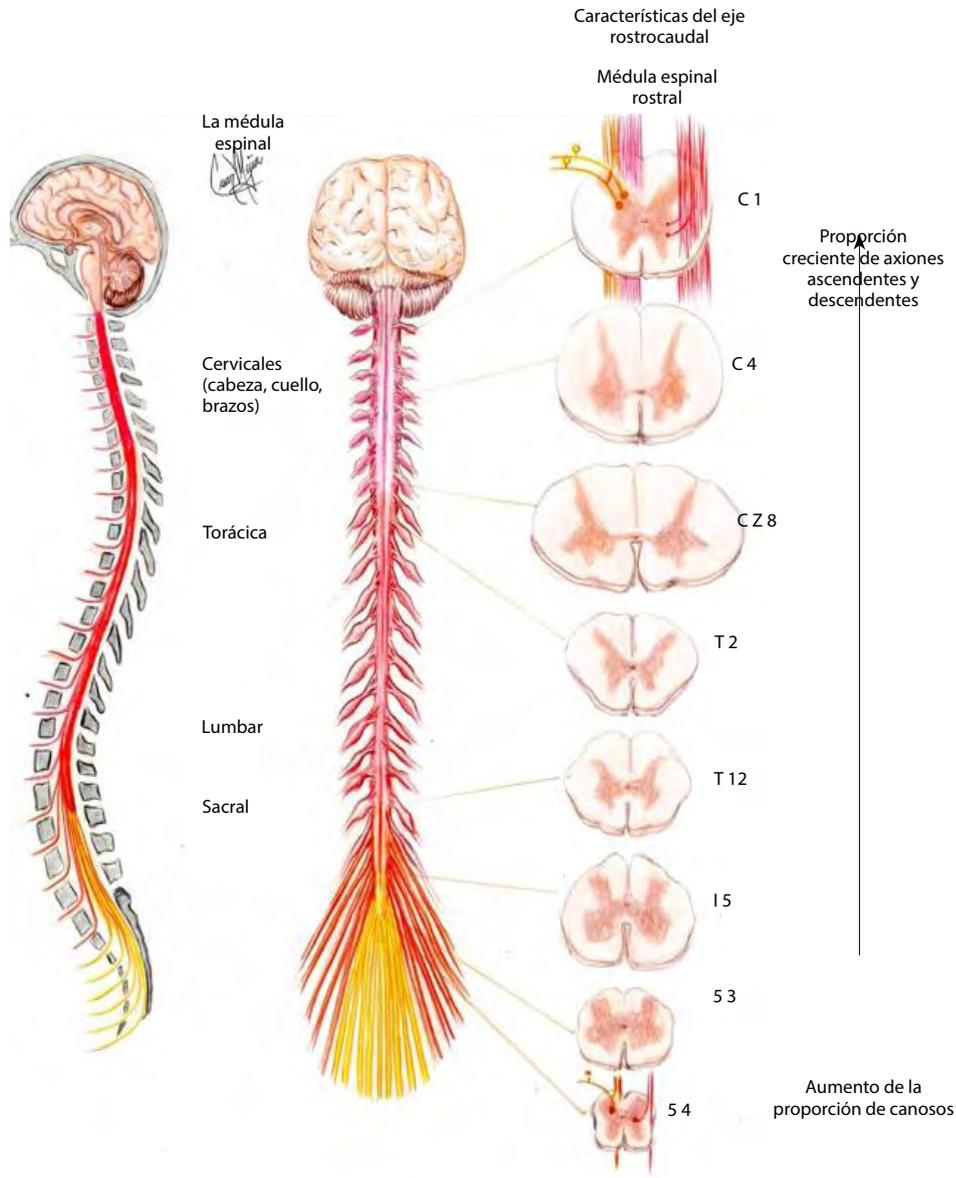
Fuente: López, 2023.

Correlación clínica

La anestesia local de la mano proporciona una forma directa de apreciar el papel sensoriomotor del tacto. La pérdida del tacto no causa parálisis o debilidad, en virtud de que gran parte del movimiento experto es predictivo, depende de la retroalimentación sensorial para el ajuste si es necesario. El sistema motor compensa la ausencia de información táctil al generar más fuerza de la necesaria. Bajo anestesia local, los movimientos de la mano son torpes y mal coordinados, y la generación de fuerza durante el agarre es anormalmente lenta. Con la pérdida de la sensibilidad táctil, uno depende directamente de la visión. Estos problemas motores se ven agravados por la pérdida crónica de la función táctil, debido a una lesión de los nervios periféricos o columna dorsal. Las células aferentes mielinizadas en las columnas dorsales degeneran en pacientes con enfermedades desmielinizantes, como esclerosis múltiple. En la sífilis de etapa tardía, las neuronas de gran diámetro en los ganglios de la raíz dorsal se destruyen (*tabes dorsalis*). Estos pacientes tienen enfermedades crónicas graves en contacto y propiocepción, pero a menudo poca pérdida de termoalgesia. Las pérdidas somatosensoriales se acompañan de déficits motores (movimientos torpes,

mal coordinados y distonía) (Kandel et al., 2012).

Figura 15. Medula espinal según nivel.



Fuente: Mejía, 2023.

Los pacientes con lesiones en la corteza parietal anterior tienen graves dificultades con las pruebas táctiles simples: umbrales táctiles, vibración y sentido de la posición de la articulación, discriminación de dos puntos, deficiente desempeño en discriminación de texturas, estereognosis y pruebas de adaptación visual-táctil. En contraste, los pacientes con lesiones en la corteza parietal posterior tienen una dificultad leve con pruebas táctiles simples. Sin embargo, tienen una gran dificultad con las complejas tareas de

reconocimiento táctil y utilizan pocos movimientos de exploración y habilidad. Muestran problemas cinemáticos al interactuar con objetos, no logran formar y orientar la mano correctamente para agarrarlos, y desviar el brazo al alcanzar. Usan demasiada fuerza de agarre cuando se coloca un objeto (Kandel et al., 2012).

Pueden presentarse alucinaciones, que son trastornos de la percepción (pueden ocurrir en cualquiera de los sentidos: auditivas, visuales, gustativas, olfatorias, táctiles y propioceptivas) en los cuales no existe estímulo externo y el sujeto se encuentra despierto —se presenta de forma conjunta con las percepciones reales—. El origen fisiopatológico está en el cerebro, que forma esos estímulos y el individuo siente que provienen del exterior o de su interior (Uriarte, 2013).

Las ilusiones son ideas erróneas en donde ocurre transformaciones de percepciones reales a causa de estados emocionales que alteran la veracidad de lo percibido, y se interpreta de forma característica, creyendo o ideando otra realidad. Resulta esencial diferenciarlas de las alucinaciones (Uriarte, 2013).

Los síntomas clínicos sugestivos de lesión o afección sensorial pueden ser (Muñiz Landeros, 2015):

- Anestesia: desaparición completa de todas las sensaciones en una región corporal.
- Hiperestesia: cuando se percibe una sensación mayor a la esperada.
- Hipoestesia: disminución de la sensación percibida esperada.
- Disestesia: percepción distinta a lo esperado.
- Parestesia: sensación en una región del cuerpo que no es estimulada, describiendo sensación de «hormigueo».
- Disociación sensitiva: pérdida de una modalidad de sensación y conservación de otra en la misma región corporal.
- Alodinia: aumento de sensibilidad al dolor o respuesta exagerada al dolor ante un estímulo no doloroso.
- Aloestesia: percepción de un estímulo sensitivo en una región diferente a la estimulada.
- Analgesia: ausencia de la percepción sensorial del dolor.
- Cinestesia: pérdida de la percepción del movimiento.

Referencias

- Felten, D.L., & Shetty, A.N. (2010). *Netter: atlas de neurociencia* (2da. ed.). Elsevier Masson.
- Guyton, A., & Hall, J. (2015). *Fisiología de Guyton* (13va. ed.). Elsevier España.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel, T.M., Siegelbaum, S.A., & Hudspeth, A.J. (2012). *Principles of neural science* (5a. ed.). McGraw-Hill Education.
- Muñiz Landeros, C.E. (2015). *Neurología clínica* (1era. ed.). El Manual Moderno.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., & Hall, W.C. (2015). *Neuroscience* (5ta. ed.). Médica Panamericana.
- Sadock, B.J., & Sadock, V.A. (2008). *Sinopsis de psiquiatría* (10ma. ed.). Lippincott Williams and Wilkins. Wolters Kluwer Health.
- Snell, R.S. (2007). *Neuroanatomía Clínica* (6ta. ed.). Médica Panamericana.
- Turlough Fitzgerald, M.J., Gruener, G., & Mtui, E. (2012). *Neuroanatomía clínica y neurociencia* (6ª. ed.). Elsevier Saunders.
- Uriarte, B. (2013). *Funciones cerebrales y psicopatología* (1ra. ed.). Alfil.
- Waxman, S.G. (2011). *Neuroanatomía clínica* (26ª. ed.). Mc Graw Hill.

Sensoperception Sensopercepção

Leonardo Flavio Medina Guillen

<http://orcid.org/0000-0001-7393-1584>

Pontificia Universidad Católica de Chile | Facultad de Medicina | Santiago | Chile
lmedinag@uc.cl

Maestrante en Salud Pública Global, Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctor en Medicina y Cirugía, Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Coordinador nacional de proyecto RISSALUD.

Abstract

The chapter discusses the anatomy, functions and sensory pathways related to sensation and perception, detailing receptor types such as mechanoreceptors, thermoreceptors, nociceptors, electromagnetic and chemoreceptors. Specific functions of each type of mechanoreceptor are explored, such as the detection of pain, touch, pressure, motion and vibration. The function of receptors in systems such as the ear, Golgi tendon receptors, and osmolality receptors are discussed. In addition, the anatomy of sensory pathways is examined, highlighting the importance of cranial nerves and connections to the central nervous system. The processing of gustatory, olfactory and visual signals in the brain is described. Clinical conditions such as hallucinations and delusions are mentioned, as well as symptoms suggestive of sensory lesions or conditions. In summary, the chapter provides a detailed overview of sensory processes, from the detection of stimuli to their processing in the nervous system.

Keywords: Neuroanatomy; Neurophysiology; Sensitivity; Perception.

Resumo

O capítulo discute a anatomia, as funções e as vias sensoriais relacionadas à sensação e à percepção, detalhando os tipos de receptores, como mecanorreceptores, termorreceptores, nocorreceptores, eletromagnéticos e quimiorreceptores. São exploradas as funções específicas de cada tipo de mecanorreceptor, como a detecção de dor, toque, pressão, movimento e vibração. A função dos receptores em sistemas como o ouvido, os receptores do tendão de Golgi e os receptores de osmolalidade são discutidos. Além disso, a anatomia das vias sensoriais é examinada, destacando a importância dos nervos cranianos e das conexões com o sistema nervoso central. O processamento dos sinais gustativos, olfativos e visuais no cérebro é descrito. São mencionadas condições clínicas, como alucinações e delírios, bem como sintomas sugestivos de lesões ou condições sensoriais. Em resumo, o capítulo fornece uma visão geral detalhada dos processos sensoriais, desde a detecção de estímulos até seu processamento no sistema nervoso.

Palavras-chave: Neuroanatomia; Neurofisiologia; Sensibilidade; Percepção.