

## **FUNCIONES SENSORIALES: SISTEMA SOMATOSENSORIAL**

La puerta de entrada de la información del entorno al sistema nervioso, de la amplia gama de informaciones que conforma el mundo que nos rodea, es proporcionada por los receptores sensoriales que detectan estímulos tales como tacto, sonido, luz, dolor, frío, calor, etc.

### **Receptores sensoriales**

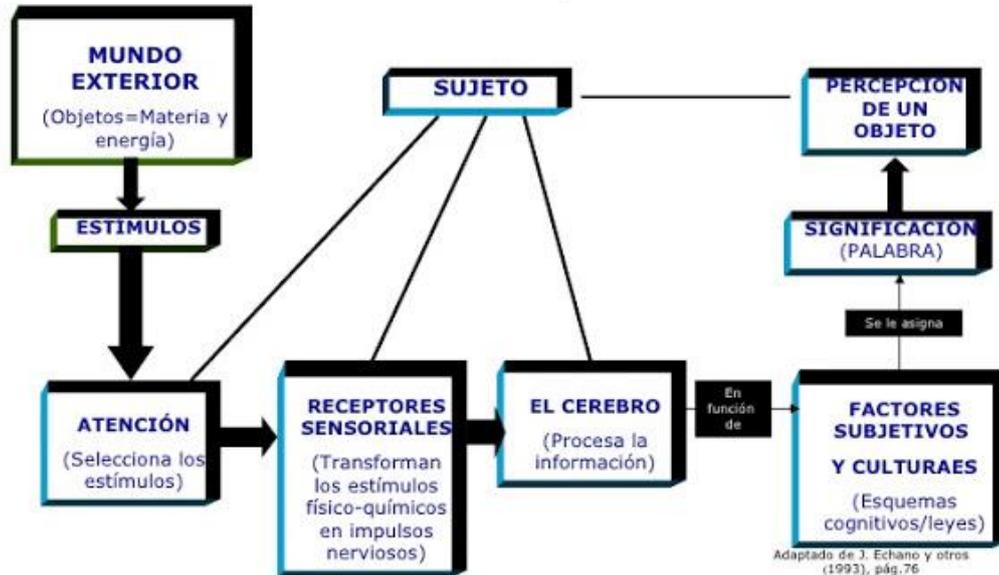


Los receptores sensoriales convierten la energía del estímulo en una señal nerviosa, en la que está codificada la información y las características del estímulo. A continuación se transmite desde el receptor, mediante una serie de neuronas y relevos sinápticos, hasta las regiones cerebrales específicas, denominándose proceso sensorial. La infraestructura del sistema nervioso encargada de sustentar este proceso se llama sistema sensorial y consiste en el conjunto de neuronas y sinapsis excitatorias e inhibitorias que van desde la periferia (superficie corporal u órgano receptor) hasta los niveles más altos del sistema nervioso central.

Con todo, este proceso forma parte de otro más amplio: la percepción, en el cual, la información sensorial se integra con la información previamente adquirida, por lo que se añaden elementos subjetivos que pueden matizar la sensación. Por lo tanto al hablar de percepción hay que contemplar un proceso activo e integrador en el que participa todo el cerebro.

# El proceso perceptivo

Lo percibido es una **construcción del sujeto**; no es una **copia de la realidad**, ni una **invención del sujeto**



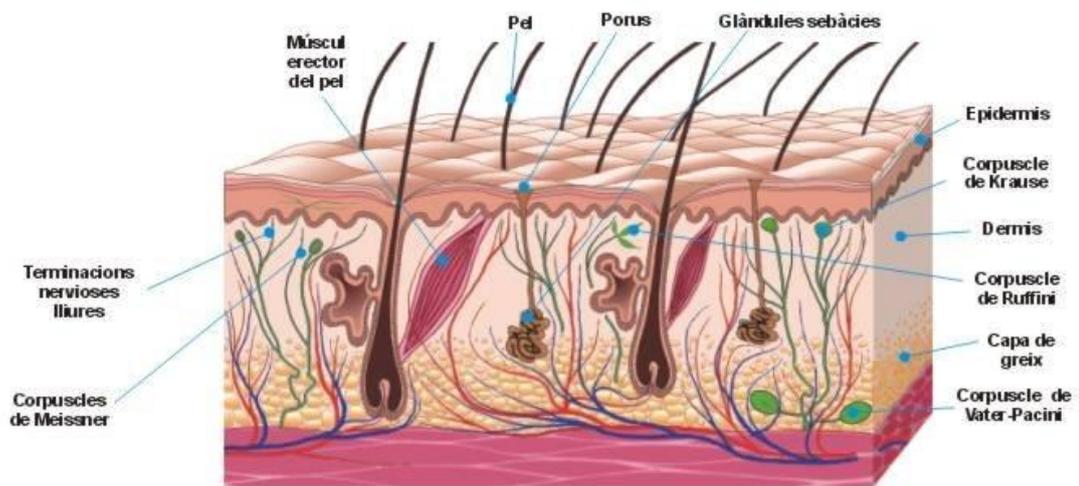
Los receptores sensoriales son los encargados de convertir los estímulos en mensajes nerviosos. El estímulo normal y apropiado para un receptor es el que presenta el umbral más bajo con capacidad excitatoria. A este estímulo se le llama "adecuado o específico" e implica la mínima intensidad necesaria para que pueda ser detectado. Aunque un traumatismo ocular puede provocar destellos luminosos, los estímulos adecuados para la visión son los correspondientes a ondas electromagnéticas dentro del espectro visible. Esta idea está en relación con la Ley de Müller de las energías sensoriales específicas que postula: "... el tipo de sensación no está determinado por el estímulo, sino por el órgano sensorial estimulado, y por la zona del sistema nervioso central donde se procesa la información".

## Clasificación de los receptores sensoriales

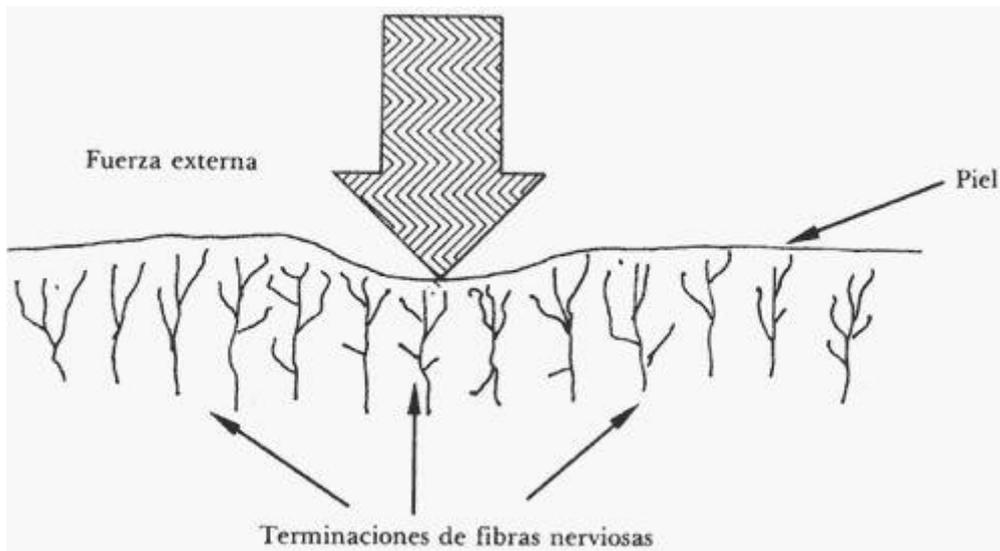
Existen varias formas de clasificar de los receptores dependiendo de los criterios empleados (la sensación provocada, su origen embriológico, su localización y la naturaleza física del estímulo).

Los más habituales son los criterios de localización que permiten distinguir entre exteroceptores (receptores externos), interoceptores (receptores viscerales) y propioceptores (receptores musculares y articulares).





c) **Nociceptores** estimulados por el daño producido en los tejidos, o cuando este daño es inminente, ya sea por mecanismos físicos o químicos.



d) **Fotorreceptores** sensibles a la incidencia de luz sobre la retina del ojo.



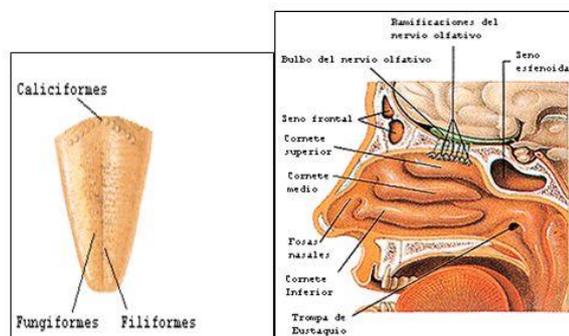
e) **Quimiorreceptores** que son estimulados por sensaciones químicas de gusto y olfato (sabores y olores), por la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre arterial, o por la osmolalidad o el pH de los líquidos corporales.

## Clases de Quimiorreceptores

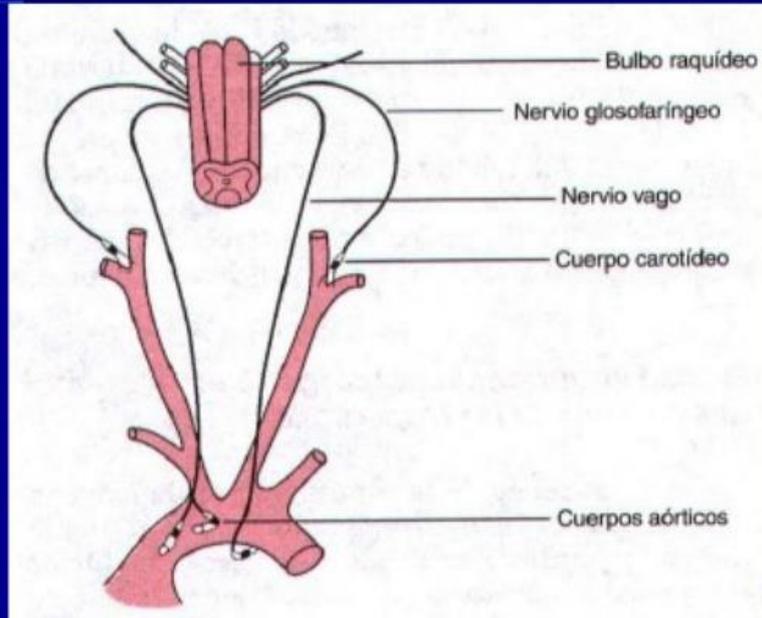
### Función de los Quimiorreceptores

Permiten detectar modificaciones en la concentración de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $H^+$ , o sea, disminución de la concentración de  $O_2$  y el aumento de las concentraciones de  $CO_2$  e  $H^+$  debido al descenso de la PA.

- Hay 2 Clases de quimiorreceptores:
  - \* Periféricos
  - \* Centrales



# QUIMIORRECEPTORES PERIFERICOS

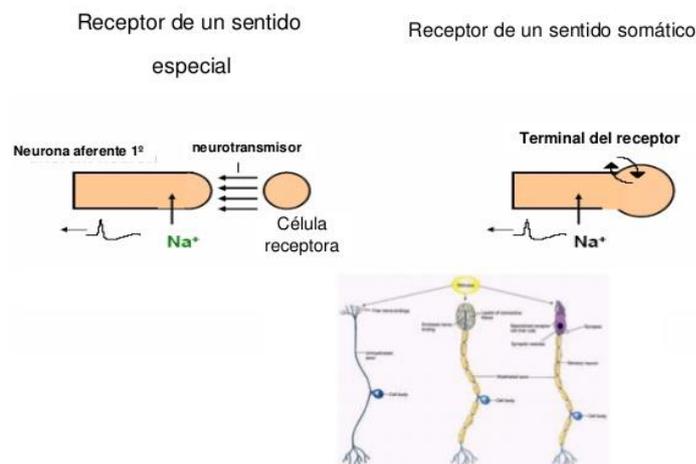


Y un tercer criterio les clasifica en función de su estructura en:

- a) Primarios: formados por la terminación de una fibra sensorial
- b) Secundarios: formados por una célula especializada, que se conecta a través de una sinapsis con la fibra sensorial.

## Transducción sensorial

### Transducción SENSORIAL



El proceso utilizado por los receptores sensoriales para transformar la energía física del estímulo sensorial (presión, temperatura, ondas electromagnéticas, etc.) en potenciales de acción, unidad fundamental de información en el sistema nervioso, se denomina transducción sensorial.

El proceso de transducción se produce en una zona especializada de la membrana del receptor primario, o de la célula receptora especializada, denominada sensor.

La energía físico-química, inducida por el estímulo, provoca en esta zona un cambio en la permeabilidad de la membrana del receptor y en consecuencia se produce bien de forma directa, bien mediada por mensajeros intracelulares (AMPC y GMPc) la apertura o el cierre de canales iónicos produciéndose un flujo de corriente que induce modificaciones en el potencial de membrana. La entrada de cargas positivas hacia el interior (principalmente Na<sup>+</sup>), provocará una despolarización; mientras que si se produce una salida de cargas positivas desde el interior (principalmente K<sup>+</sup>) entonces se producirá hiperpolarización. Este cambio en el potencial de membrana se denomina potencial de receptor.

En los receptores primarios, se produce un flujo de corriente que se dispersa a lo largo de la fibra nerviosa. En el primer nodo de Ranvier, el potencial que llega se denomina potencial generador y si tiene amplitud suficiente esta corriente inicia potenciales de acción en la fibra. Sólo los potenciales de acción son transmitidos a lo largo de la fibra nerviosa hacia el sistema nervioso central. En los receptores secundarios, el potencial receptor se produce en las células epiteliales especializadas y se transmite, a la zona terminal de la neurona aferente primaria, a través de una sinapsis.

Los potenciales receptores pueden sumarse temporal o espacialmente de manera que se alcance más rápidamente el umbral y se produzca un potencial de acción. Si se aplica un estímulo de una intensidad que supere el umbral, pero de corta duración se producirá un solo potencial de acción. Un estímulo de la misma amplitud pero de mayor duración provocará potenciales de acción repetitivos; cuanto más se eleva el potencial de receptor sobre el nivel umbral, mayor es la frecuencia de los potenciales de acción.

Una característica especial de todos los receptores sensoriales es que se adaptan, ya sea parcial o completamente a sus estímulos después de un período de actividad. El tipo de adaptación difiere en los distintos tipos de receptores.

Algunos receptores son fásicos o de adaptación rápida, lo que significa que se adaptan con rapidez al estímulo (p.ej., corpúsculos de Pacini) y otros son tónicos o de adaptación lenta, es decir que se adaptan lentamente al estímulo (p. ej., husos musculares). En algunos casos, los receptores fásicos se denominan, receptores de velocidad y los receptores tónicos, receptores de intensidad.

### Codificación sensorial

Las neuronas sensoriales se encargan de codificar los estímulos del ambiente. La codificación se inicia cuando el estímulo es transducido por receptores sensoriales y continúa a medida que la información se transmite a niveles progresivamente más elevados del SNC. Las características codificables son:

**a) Modalidad.** Cada tipo específico de sensación recibe el nombre de modalidad. Las fibras nerviosas solo transmiten potenciales de acción sea cual sea el estímulo. La modalidad percibida, dependerá del punto específico en el sistema nervioso central donde termina la fibra excitada. Así, toda la información que llega a través de los nervios ópticos se interpreta como luz, incluso si la señal resulta de la presión aplicada en el globo ocular, dado que terminan en las áreas visuales del cerebro. Esta especificidad de las fibras nerviosas para transmitir solamente una modalidad sensitiva se denomina principio de la "línea rotulada o línea marcada".

**b) Intensidad.** La intensidad del estímulo está correlacionada con la frecuencia de descarga de la fibra sensorial. La intensidad del estímulo más baja que un individuo puede detectar se denomina umbral sensorial. El aumento de la intensidad del estímulo produce un aumento de potenciales de acción por unidad de tiempo.

Este aumento tiene un límite impuesto; de una parte porque el número de canales es limitado y de otra por el periodo refractario de la fibra aferente. La intensidad del estímulo puede ser ampliada en su apreciación por el número de receptores activados y, por lo tanto, un estímulo intenso activa más receptores y genera respuestas más amplias que estímulos más débiles, es decir utilizando un número creciente de fibras en paralelo (sumación espacial); la intensidad se puede codificar también, por diferencias de la frecuencia de disparo de las neuronas sensoriales de la vía (sumación temporal) e incluso codificar por activación de diferentes tipos de receptores.

**c) Duración.** La duración está en función de la intensidad y de la permanencia del propio estímulo; en este último caso dependerá de si los

receptores activados son de adaptación rápida, que definen el principio y el final del estímulo, o de adaptación lenta, en cuyo caso mantienen la frecuencia de disparo mientras persiste el estímulo. Sin embargo, si el estímulo es muy prolongado, los receptores acaban por adaptarse y cambian su frecuencia de disparo.

**d) Localización.** Los receptores sensoriales se disponen espacialmente en los tejidos periféricos de la superficie del cuerpo y los potenciales de acción llevan la información básica a los niveles superiores para la localización del estímulo. El cerebro posee una representación precisa de estos receptores. Esta representación espacial de la superficie corporal en la corteza cerebral se basa en los campos receptores de neuronas sensoriales.

Campo receptor es un área del cuerpo que al ser estimulada provoca la activación del receptor que la inerva. Entre sus propiedades están el tamaño y la densidad de sensores. Campos receptores pequeños y con una densidad de sensores elevada indican una mayor precisión en la localización.

Para aumentar el contraste de la información sensorial y aumentar su grado de resolución espacial, es decir, localizar y discriminar entre dos estímulos, se utiliza la inhibición lateral. Ésta se produce en los núcleos de relevo, de la médula espinal o del tallo encefálico. En ellos, mediante conexiones con interneuronas inhibitorias las neuronas más activas limitan la actividad de las neuronas adyacentes menos activas. De este modo, el campo receptor implica un centro excitatorio y una periferia inhibitoria, que ayudan a localizar con precisión el estímulo al delimitar sus fronteras.

## Sistema somatosensorial

El sistema somatosensorial procesa información acerca de tacto, posición, dolor y temperatura. Los receptores implicados en la transducción de estas sensaciones son mecanorreceptores, estimulados por el desplazamiento mecánico de algún tejido del organismo; termorreceptores, que detectan calor y frío y nociceptores que se activan por cualquier factor que dañe los tejidos localizados por la superficie de todo el cuerpo. También existen receptores en la musculatura esquelética y otros tejidos de cuerpo que envían información al SNC sobre el estado y la posición del cuerpo. Estos mecanorreceptores reciben el nombre de propioceptores.

Los receptores cutáneos no están distribuidos uniformemente por la superficie del cuerpo, sino que hay regiones con una mayor densidad por lo que presentan también mayor sensibilidad. Las zonas más sensibles son la punta de la lengua, los labios, la punta de los dedos, el dorso de la mano y la cara. Los receptores cutáneos son dendritas de neuronas sensitivas que pueden encontrarse encapsuladas, formando discos o terminaciones nerviosas libres.

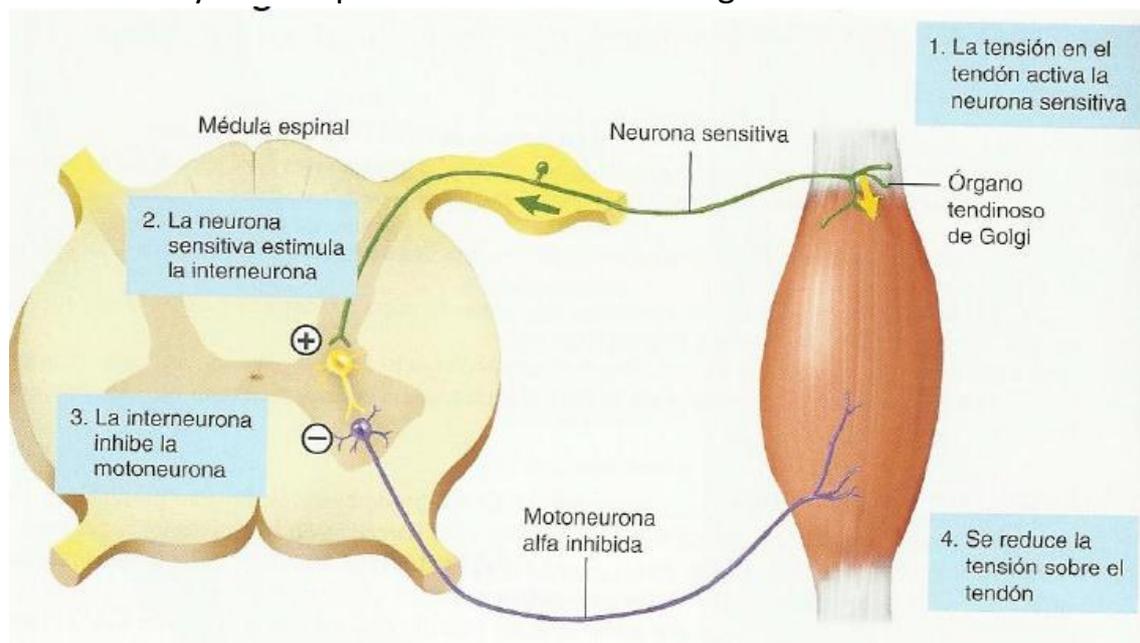
## Receptores somatosensoriales

### A) Mecanorreceptores

Los mecanorreceptores detectan estímulos mecánicos y pueden clasificarse de acuerdo con la sensación específica que codifican. Generan sensaciones de tacto, presión, vibración y cosquilleo. Algunos tipos de receptores se encuentran en la piel no vellosa y otros en la piel vellosa. Los tipos de mecanorreceptores se describen conforme a su localización en la piel o músculo, tipo de adaptación y sensación codificada.

### B) Propioceptores

Los propioceptores suministran información acerca de la posición de las articulaciones, de la actividad muscular y de la orientación del cuerpo en el espacio. Los receptores de estiramiento más importantes son los husos musculares y los receptores tendinosos de Golgi.



## C) Termorreceptores

Los receptores de temperatura son terminaciones nerviosas libres de adaptación lenta que reconocen la temperatura cutánea. Hay receptores para el frío y para el calor. La población de receptores para el frío responde para un amplio intervalo de temperaturas, entre 20 y 35 °C y la población de receptores para el calor responde dentro de un intervalo de entre 30 y 43 °C. En un intervalo de temperaturas intermedias (la denominada zona neutra o zona comfortable) no existe una sensación de temperatura apreciable. Dicho intervalo oscila aproximadamente entre 30 y 36 °C para una pequeña zona de la piel, pero es más estrecho cuando se expone el cuerpo al desnudo. Con temperaturas inferiores a 17 °C se produce dolor por frío. Con temperaturas muy altas de la piel (superiores a 45 °C) puede aparecer el fenómeno de frío paradójico, determinado por la activación de una parte de la población de receptores para el frío.

## Estudio de la nocicepción

El dolor informa de agresiones externas o internas a nuestro organismo y previene de la constante producción de lesiones, actuando como un sistema de alarma. Abarca matices psicológicos y afectivos que, a diferencia de otras sensaciones, son siempre de carácter negativo o de discomfort. Por otra parte, la sensación de dolor conduce al desarrollo de una serie de respuestas reflejas tanto motoras (reflejo flexor o de retirada, contracturas musculares, etc) como vegetativas (sudoración, escalofríos, náuseas) que forman parte de la sensación.

Los nociceptores reaccionan a estímulos nocivos capaces de causar daño tisular. Están formados por terminaciones nerviosas cutáneas libres, que responden a dos tipos principales: los nociceptores mecánicos y los nociceptores polimodales. Los primeros responden a estímulos mecánicos, como pinchazos dolorosos con objetos agudos (dolor agudo); los segundos, reaccionan a estímulos mecánicos, químicos y térmicos (dolor crónico o persistente). Por tratarse de un sistema de alarma, ambos tipos de receptores se adaptan muy lentamente o no lo hacen.

La estimulación parte de una alteración primaria de los tejidos, con reacciones celulares que producen sustancias capaces de estimular los nociceptores.

## Características de la sensación de dolor.

La caracterización del dolor es una función importante en el conocimiento del mismo:

**a. Localización.** El dolor proveniente de la estimulación de la superficie corporal se denomina dolor superficial, y suele presentar dos componentes, el llamado dolor primario, como el que desencadena un pinchazo y que desaparece tras cesar el estímulo; y el dolor secundario, que se produce después del anterior, con un intervalo de retraso (no más de 1 seg.), de características menos definidas, peor localizado y más prolongado en el tiempo. El dolor que aparece en los músculos, articulaciones, huesos y tejido conjuntivo se conoce como dolor profundo, mal localizado, sordo y con afectación del entorno inmediato. Estos dos tipos representan el dolor somático en contraposición al dolor visceral que se genera en órganos internos y con frecuencia se asocia a fuertes contracciones músculo-viscerales o a su intensa deformación o inflamación.

El dolor visceral se diferencia del dolor somático en que está mal localizado con relación al órgano afectado y habitualmente es referido a una zona de la superficie corporal. La explicación del dolor referido, viene dada porque tanto las fibras del dolor somático como visceral convergen en las mismas células del tracto espinotalámico a un determinado nivel de la médula espinal y el cerebro interpreta los impulsos del tracto espinotalámico como dolor en la región somática correspondiente.

El dolor visceral, puede localizarse superficialmente en los dermatomas relacionados con la localización embrionaria de la estructura visceral afectada. Así el dolor producido en el corazón por una falta de riego sanguíneo adecuado, como ocurre en una angina de pecho, es referido al lado izquierdo del tórax y parte del brazo izquierdo.

Un aspecto cualitativo peculiar de la somatoestesia superficial es el picor, muy relacionado con el dolor por la distribución corporal en donde se puede percibir, y por las vías de conducción que se utilizan para su transmisión.

En este tipo de sensación interviene la histamina ya que se ha detectado su presencia en las zonas afectadas, y cuando se procede a su inyección se desencadena un picor de gran intensidad.

**b. Duración.** Los dolores agudos avisan de la existencia o de la producción inminente de la lesión y suelen desaparecer cuando lo hace la lesión. Los crónicos persisten en el tiempo o presentan constantes recidivas y en

muchas ocasiones no está relacionada la cantidad de dolor y la entidad de la lesión.

## Vías somatosensoriales

La información sensorial proveniente de los receptores de la superficie corporal penetra en la médula espinal mediante las raíces dorsales de los nervios espinales. Bien a este nivel o a nivel del tronco encefálico los impulsos procedentes de un lado del cuerpo cruzan al lado opuesto. Hay dos vías que conectan los receptores sensoriales con la corteza cerebral. Son los Sistemas: Columna dorsal-lemnisco y Anterolateral. En ambas vías la información viaja desde el receptor hasta la corteza sensitiva y la transmisión se realiza mediante conexiones de neuronas en serie: neuronas de primer orden, segundo, tercero y superiores.

### Sistema de la columna dorsal y lemnisco.

Es una vía formada por grupos de tres neuronas en serie que trasmite la información procedente de la mayoría de los mecanorreceptores y propioceptores hasta la corteza. Consta principalmente de fibras nerviosas mielínicas de conducción rápida. Las primeras neuronas, o neuronas de primer orden, tienen sus somas en los ganglios de la raíz dorsal de los nervios raquídeos o en los ganglios craneales y sus axones ascienden ordenadamente por la médula espinal hasta el bulbo, en dos haces denominados columnas dorsales o haz de Burdach y de Goll. Allí establecen sinapsis sobre neuronas de segundo orden situadas en los núcleos de las columnas dorsales. En cada relevo sináptico se mantienen las relaciones topográficas (orientación espacial), de tal manera que las proyecciones de los dedos, mano y brazo se mantienen juntas.

Los axones de las neuronas de segundo orden cruzan al lado opuesto (decusación) y penetran en el lemnisco medial, que asciende hasta el tálamo donde a nivel del núcleo ventral posterolateral (VPL) hacen sinapsis sobre neuronas de tercer orden que proyectan sus axones al área somatosensorial primaria (SI) de la corteza cerebral.

Para transmitir la sensibilidad de la cara existe la vía del trigémino que es equivalente a la vía del sistema de columna dorsal y lemnisco en el resto del cuerpo.

## Sistema Anterolateral.

Llamado también espinotalámico, transporta la información del dolor, la temperatura, el tacto o presión groseros y las sensaciones de picor y cosquilleo. Este sistema contiene principalmente fibras de conducción lenta. La vía espinotalámica se puede subdividir en dos: vía neoespinotalámica las fibras se proyectan en la corteza somatosensorial y vía paleoespinotalámica con proyecciones en diferentes puntos del tálamo.

La vía neoespinotalámica, tiene los axones de las neuronas de primer orden (con somas en los ganglios raquídeos) que establecen sinapsis sobre neuronas de segundo orden, situadas en las astas dorsales de la médula espinal. Los axones de las neuronas de segundo orden decusan a nivel medular y ascienden por un haz denominado anterolateral. Se proyectan, en el núcleo ventral posterolateral (VPL) y núcleos contiguos del tálamo de la misma forma somatotópica. Ascienden a la corteza somatosensorial. Se cree que transmiten información relacionada con el dolor intenso, agudo y bien localizado.

La vía paleoespinotalámica se caracteriza por ser una vía polisináptica con sinapsis en numerosas áreas del bulbo, protuberancia y mesencéfalo. Desde mesencéfalo se proyecta a sistema límbico (dolor producido por respuestas emocionales). Los estímulos dolorosos desde el área reticular del tronco se proyectan hacia el núcleo intralaminar del tálamo, sin una disposición somatotópica, y desde allí de forma difusa a partes del hipotálamo y regiones adyacentes del cerebro basal. Esta vía transmite el dolor crónico.

En el caso de las señales dolorosas (y en otras modalidades también) existen vías descendentes que participan en el control del dolor: el sistema endógeno de analgesia. Este sistema se puede dividir en analgesia inducida por opioides

endógenos (encefalina, dinorfina y b-endorfina) o inducida por estrés.

Cuando los nociceptores se activan liberan sustancia P en sus terminales sinápticas. La sustancia P produce un potencial postsináptico excitador muy duradero y ayuda a mantener el efecto de los estímulos nocivos. Los opioides actúan evitando la liberación del neurotransmisor (inhibición presináptica) o provocando un potencial postsináptico inhibitorio con lo que disminuye la intensidad del dolor o su inhibición total.

En situaciones de estrés, las neuronas de los núcleos del rafe liberan como neurotransmisor serotonina y éste causa inhibición en las neuronas nociceptivas. Por otra parte las neuronas del tronco del encéfalo

aumentan la liberación de noradrenalina que también inhibe la información dolorosa.

## Corteza somatosensorial

La corteza somática está situada detrás de la cisura central (o de Rolando) y está formada por tres áreas. La primera se localiza en la circunvolución parietal ascendente y corresponde a la porción alargada, es el área primaria somática S I (áreas de Brodmann 1, 2, 3a y 3b). Está especializada en el análisis de la información procedente de los mecanorreceptores, de los propioceptores y también, aunque en menor medida, de los nociceptores y los termorreceptores. Recibe información sensitiva directa del tálamo (núcleos VPL y VPM). En ella se observa, al igual que en el tálamo, una organización somatotópica ya que recibe las proyecciones de las neuronas de tercer orden que mantienen la representación topográfica. Es decir que en S I hay un mapa de la superficie corporal. Este mapa en el hombre se denomina homúnculo, y el tamaño de las áreas es directamente proporcional al número de receptores especializados en cada zona del cuerpo. Así, los labios, el rostro, el pulgar, etc., son las partes del cuerpo que representan la mayor superficie en la corteza somática.

La S I se proyecta a la corteza somatosensorial secundaria S II (área 40 de Brodmann) y al lóbulo parietal posterior (áreas 5 y 7).

El área S II (área 40 de Brodmann) tiene también organización somatotópica pero, al contrario que S I, que recibe la información sensitiva exclusivamente del lado opuesto, en este caso la información es bilateral (recibe proyecciones de los campos de receptores de la misma modalidad y de ambos lados).

Las áreas 5 y 7 de Brodmann de la corteza cerebral, situadas detrás del área sensitiva somática S I y por encima de S II, se conocen como áreas de asociación sensitiva, dado que reciben información de una gran variedad de fuentes (de S I y S II, de los núcleos ventrobasales del tálamo, de otras áreas del tálamo y de la corteza visual y auditiva), que se vinculan con motivaciones y oportunidades particulares para la acción.

