

# TEMA 7

## Fisiología del receptor sensorial

### Índice

1. Introducción.
2. Clasificación de los receptores sensoriales.
3. Conceptos previos.
  - 3.1 Ley de la Energía nerviosa específica.
  - 3.2 Propiedades de los receptores sensoriales.
4. Transducción sensorial.
  - 4.1 Etapas de la transducción sensorial
  - 4.2 Codificación de los impulsos nerviosos
  - 4.3 Fraccionamiento del rango sensorial
5. Adaptación de los receptores.
6. Vías nerviosas.
  - 6.1 Clasificación de las vías nerviosas
  - 6.2 Clasificación de los receptores táctiles
- 7 Transmisión de las señales somáticas al SNC
  - 7.1 Médula espinal
  - 7.2 Tálamo
  - 7.3 Corteza sensorial somática
- 8 Procesamiento de la información
  - 8.1 Núcleos de relevo
  - 8.2 Interneuronas
  - 8.3 Circuito neuronal básico en el sistema de la columna dorsal-lemnisco medial.
- 9 Sentido de la posición y el movimiento

## **1. Introducción.**

Los **receptores sensoriales** son estructuras nerviosas especializadas que detectan variaciones energéticas (electromagnética, térmica, mecánica o química) de su entorno, transformándolas en señales eléctricas inteligibles para el Sistema Nervioso Central (SNC). Es decir son células nerviosas capaces de transformar estímulos en potenciales de acción que puedan ser interpretados por el sistema nervioso central.

Los receptores sensoriales son por tanto las células de los órganos de los sentidos (que nos permiten tener los 5 sentidos) y las células aisladas a lo largo del cuerpo que detectan estímulos (receptores de la piel de la espalda → aisladas; conos y bastones de los ojos → concentradas). Las terminaciones nerviosas aisladas se encargan de recibir estímulos de dolor y tacto mientras que las células de los órganos de los sentidos son células receptoras especializadas en captar estímulos especiales (cambios de luz, sabor, olfato, etc.).

Las *sensaciones somáticas* (propioceptivos) son recogidas como información sensorial del propio cuerpo. Distinguir de las *sensaciones especiales* (visión, audición, gusto, olfato equilibrio y tacto).

Existen tres tipos fisiológicos de sensaciones somáticas que podemos experimentar. Estas son:

- **Sensaciones somáticas mecanorreceptoras:** sensaciones de tacto y posición.
- **Sensaciones dolorosas:** lesión de tejidos.(pueden existir percepciones dolorosas sin lesión de tejidos)
- **Sensaciones termorreceptoras:** detectan frío y calor.

Dentro del grupo de sensaciones somáticas mecanorreceptoras hay que saber que existen distintas sensaciones pero que son captados por los mismos receptores. Hay tres subtipos:

- **Tacto:** receptores de la piel o inmediatamente por debajo de la misma.
- **Presión:** deformación de tejidos profundos.
- **Vibración:** señales sensoriales repetidas rápidamente, utilizan los mismos receptores que las anteriores, pero sólo aquéllos con rápida adaptación.

Antes de ver la clasificación de los receptores sensoriales, hay que tener claros estos conceptos:

- **Impresión sensorial:** : es información que se recibe a través de los órganos de los sentidos, que codifican esta información y la transmiten hacia el cerebro, en donde se procesa, se integra con otras informaciones sensoriales dando lugar a una percepción.
- **Sensación (primarias y mixtas):** Es la suma de impresiones sensoriales, y éstas se originan como resultado de la estimulación de receptores sensoriales. Si se estimula un solo tipo de receptor es primaria (calor, dolor). Si se estimulan diversos tipos, es mixta (tacto rugoso, peso).
- **Percepción:** Interpretación subjetiva de cada sensación. Ej olor de rosas, placer (huele bien)

- **Sobre las sensaciones:**
- **Modalidades:** que sentido es; olfato, vista, gusto, oído y tacto.
- **Cualidades:** la variedad de las sensaciones p.ej. dulce, salado, amargo, etc.
- **Intensidad:** Fuerte o débil
- **Dimensión espacio-temporal:** donde, que amplitud tiene y cuanto dura. Ej golpe, donde te has pegado, si ha sido en la rodilla o en toda la pierna y si ha sido una patada o te ha caído un tronco encima y aun lo tienes.
- **Dimensión afectiva:** Placentero o displacentero

## 2. Clasificación de los receptores sensoriales.

Según la sensación provocada	Según la localización del estímulo	Según la naturaleza física del estímulo
<p><b>5 sentidos</b></p> <p> Vista</p> <p> Olfato</p> <p> Oído</p> <p> Gusto</p> <p> Tacto</p> <p>En esta clasificación no se tienen en cuenta muchas sensaciones (dolor, calor,)</p>	<p>✓ <b>Exteroceptores:</b> el estímulo procede de la superficie exterior del cuerpo (piel y mucosas)</p> <p>✓ <b>Teleceptores:</b> detectan estímulos distantes (vista, oído y olfato)</p> <p>✓ <b>Interoceptores/visceroceptores:</b> detectan cambios en el interior del cuerpo (dolor vesical(de tripa) o cambios en la presión sanguínea)</p> <p>✓ <b>Propioceptores:</b> detectan cambios en el sistema musculoesquelético (músculos, articulaciones y tendones (saber si brazo estirado o doblado))</p>	<p>➤ <b>Mecanorreceptores:</b> dolor, tacto, presión vibración, longitud muscular, tensión muscular, posición de las articulaciones, presión arterial, presión venosa, audición, aceleración lineal y angular.</p> <p>➤ <b>Termorreceptores:</b> frío, calor y temperatura de la sangre en la cabeza.</p> <p>➤ <b>Nociceptores:</b> detectan el dolor.</p> <p>➤ <b>Quimiorreceptores:</b> presión parcial de O<sub>2</sub>, pH, presión osmótica, olfato, gusto.</p> <p>➤ <b>Electrorreceptores / fotorreceptores:</b> visión (conos y bastones).</p>

### 3. Conceptos Previos

#### 3.1 Ley de la energía nerviosa específica.

La estimulación de una fibra nerviosa sensorial produce una única sensación. Cualquier estimulación eléctrica corporal produce una sensación. Dependiendo de la fibra nerviosa estimulada se siente una sensación u otra. Los receptores sensoriales se estimulan espontáneamente frente a señales naturales. No obstante, mediante el uso de la electricidad podemos producir estímulos en los receptores. El estímulo generado será correcto, ya que se sentirá una sensación (calor, frío,) pero la sensación será incorrecta, ya que la sensación provocada no es natural (estimulando receptores del frío se podría sentir frío a una temperatura de 30 °C).

Para evitar estas sensaciones incorrectas, las fibras nerviosas son específicas, es decir, para generar una sensación, tan solo responderán ante estímulos naturales, generando así sensaciones adecuadas.

#### 3.2 Propiedades de los receptores sensoriales.

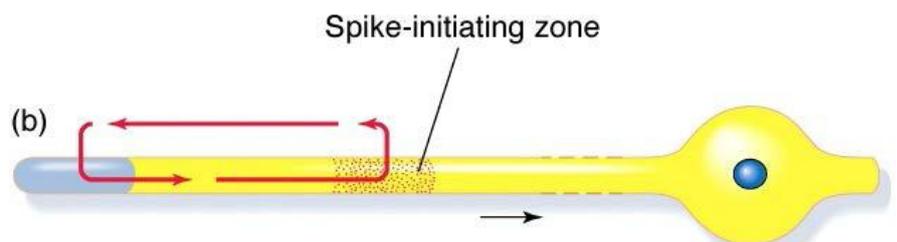
Los receptores sensoriales presentan una serie de propiedades características:

- ❖ **Grado de selectividad (especificidad):** un alto grado de especificidad (solo responden frente a estímulos concretos).
- ❖ **Bajo umbral de sensibilidad para una determinada forma de señal:** Si se trata de una señal adecuada, aunque sea de muy baja intensidad responden ante ella.
- ❖ **Velocidad de transmisión:** muy rápida.
- ❖ **Sensibilidad:** gran sensibilidad
- ❖ **Seguridad (fiabilidad):** no responden incorrectamente prácticamente nunca.

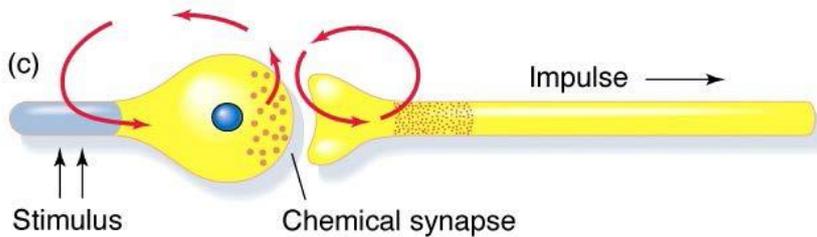
### 4. Transducción sensorial.

La transducción sensorial es el proceso en el cual los estímulos captados por los receptores sensoriales se convierten en señales nerviosas y son transmitidas al SNC. Las células receptoras convierten la energía del estímulo en potenciales de acción (transducción o codificación). En ocasiones, los receptores están formados por neuronas modificadas y ellas mismas convierten los estímulos en potenciales de acción (receptores primarios).

En la imagen se ve la captación de un estímulo en el extremo de la neurona. Esta inicia un PA que se extenderá a través de las vías nerviosas hasta el SNC (receptor primario)



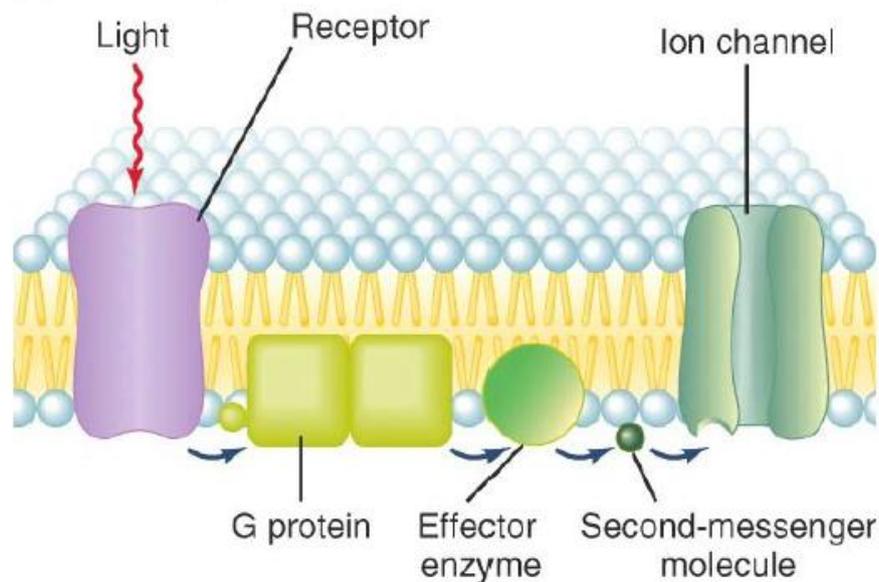
En otras ocasiones, la célula que detecta el estímulo es diferente de la que genera el impulso que viaja al sistema nervioso central (receptores secundarios). Suele tratarse de células no nerviosas que hacen sinapsis con neuronas sensoriales (Ej.: células de la cóclea y del órgano del equilibrio).



En la imagen se ve un receptor secundario, que tras haberse excitado en respuesta a un estímulo produce una sinapsis química en su membrana, produciendo en la neurona un PA que se continua hasta el SNC.

Si imaginamos la transducción en función del tacto, cuando apretamos la piel del brazo, las membranas de las células (mecanorreceptores) se deforman y abren sus canales de  $\text{Na}^+$ . Este  $\text{Na}^+$  producirá un PA de acción en células cercanas (sinapsis) y se transmitirá la sensación de pellizco en la piel.

Como ya se ha dicho, todos los sistemas sensoriales de transducción presentan una elevada selectividad para modalidades específicas de estímulos (estímulo adecuado), debido a que presentan moléculas receptoras muy específicas (los fotorreceptores de conos y bastones se estimulan sólo por fotones). Además, amplifican la señal, permitiendo que estímulos de baja energía se conviertan en señales nerviosas (por ejemplo, los fotorreceptores estimulan la degradación de  $\text{GMPc}$  por fosfodiesterasas activadas a través de proteínas G).



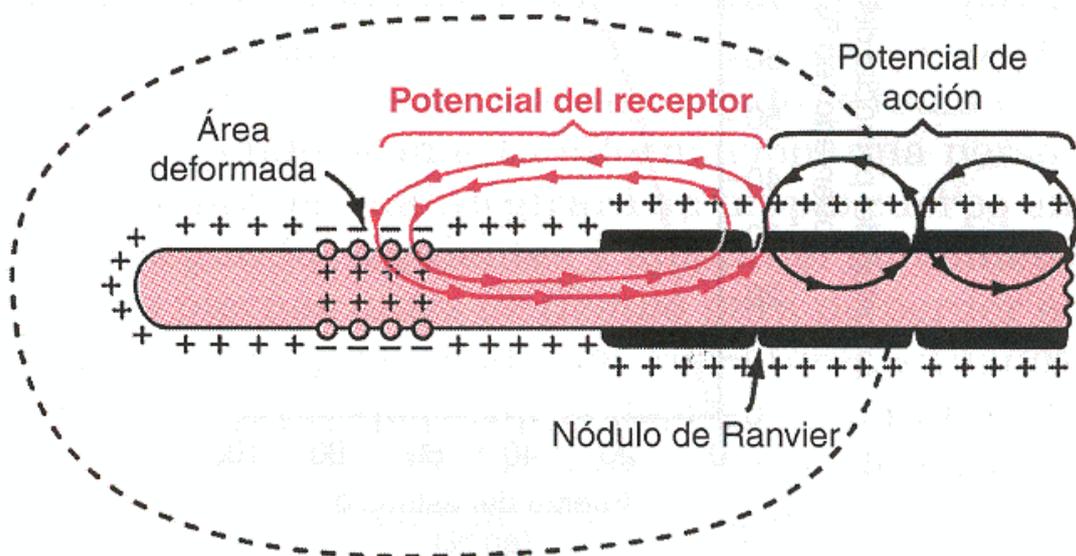
En la imagen se aprecia el proceso de amplificación de la señal. El fotorreceptor capta un estímulo luminoso. Este activa una proteína G que activa una enzima efectora. Esta enzima cataliza la formación de una molécula mensajera que abre los canales iónicos creando un PA.

#### 4.1 Etapas de la transducción sensorial

1. **Activación de la molécula receptora y generación del potencial de acción:** El estímulo provoca una alteración de determinadas proteínas de membrana, que suelen ser: canales iónicos, moduladores de otros canales o cascadas enzimáticas (el receptor inicia una serie de reacciones). El cambio en la permeabilidad de la membrana genera un potencial local (potencial receptor).

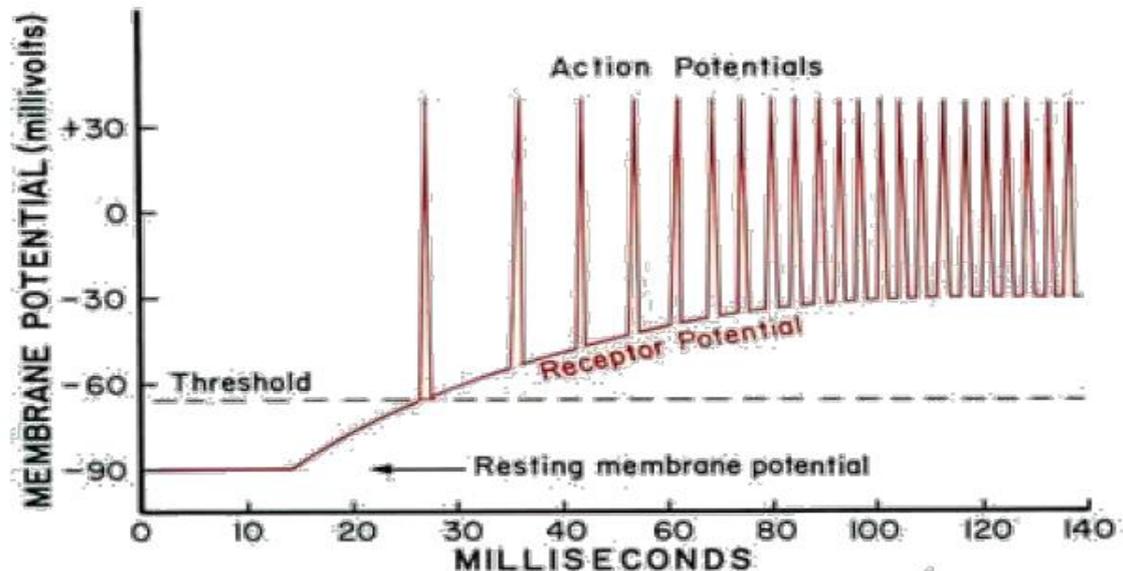
2. **Conversión del potencial receptor en potenciales de acción.** El potencial receptor es una corriente local destinada a originar cambios en la célula receptora. Su amplitud es variable.

- Si el receptor es primario, si la despolarización supera el nivel umbral, se disparará un potencial de acción. Si el potencial receptor es duradero, pueden aparecer más potenciales de acción.
- Si el receptor es secundario, el potencial receptor induce la liberación de un neurotransmisor, y si la señal postsináptica es suficiente, descargará uno o más potenciales de acción.



En la imagen, un corpúsculo de Paccini (receptor de la piel (línea discontinua)) transmite un potencial receptor a una fibra nerviosa, en la que se produce un PA. Es importante también los *nódulos de Ranvier*. Los nódulos de Ranvier son los espacios que quedan entre las vainas de mielina en las bandas nerviosas mielinizadas. Permiten una transmisión muy rápida del impulso nervioso, ya que la transmisión “saltatoria” (el PA salta de nódulo en nódulo) evita recorrer toda la membrana. Además, el proceso de repolarización es más rápido, ya que se producen menos despolarizaciones en la membrana.

En la gráfica, se representa los potenciales de acción que se dan cuando el potencial receptor supera el umbral de excitación. Siempre que un estímulo produzca un potencial receptor superior al umbral de excitación, se dará un PA. También hay que saber que cuanto más intenso sea el PR, más alta será la frecuencia de PA, es decir, cuanto más intenso el PR más PA por unidad de tiempo.

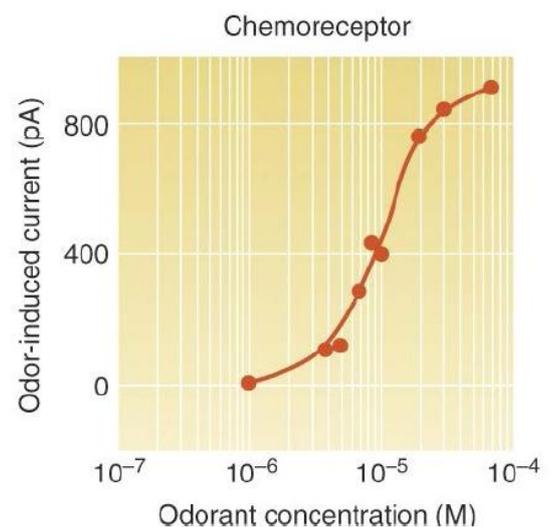
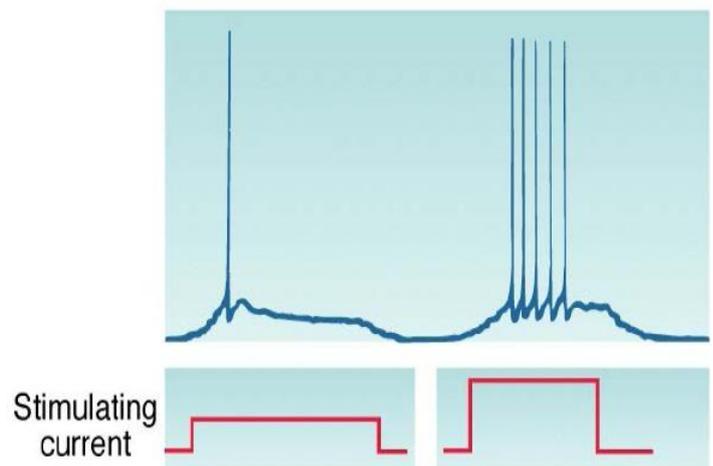


#### 4.2 Codificación de los impulsos nerviosos.

Todos los PA producidos por PR son iguales, no obstante, somos capaces de diferenciar diferentes estímulos dependiendo del receptor del que procedan y de la intensidad que tengan. Una forma de diferenciarlos es por la respuesta nerviosa que generan. En la gráfica se observan dos fenómenos estimulantes. Uno produce un único PA, mientras que el otro, más intenso aunque menos duradero, produce una cadena de PA con una frecuencia muy alta. El aumento de la relación intensidad del estímulo/ frecuencia de disparo del PA tiene unos límites:

- Número de canales iónicos limitado
- Amplitud de potencial limitada
- Periodo refractario entre PA

Además de esto, una vez alcanzado un umbral de máxima intensidad, la frecuencia de los PA no aumenta y es imposible diferenciar entre estos estímulos (rotura de dedo por martillo o por autobús).



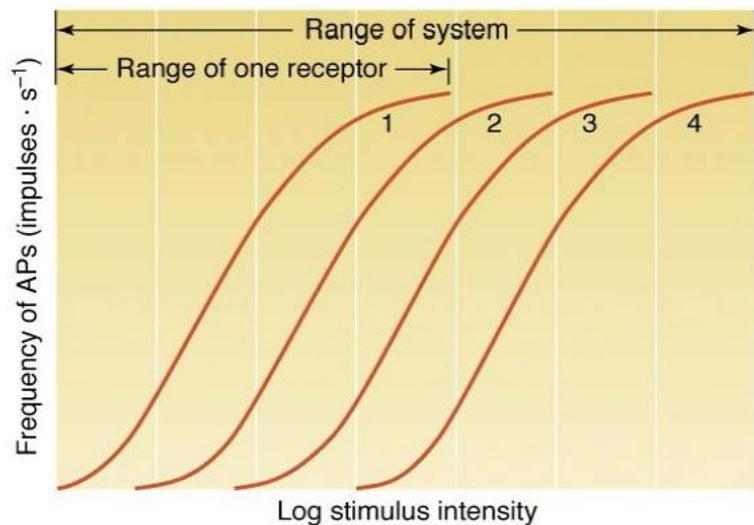
La relación se establece entre el logaritmo de la intensidad del estímulo y la frecuencia de impulsos. Esto permite que:

- Estímulos pequeños sean capaces de producir algún tipo de respuesta.
- Estímulos muy intensos provoquen cambios cada vez menores de la frecuencia de impulsos.

De este modo, los mismos receptores pueden funcionar con rangos de energía estimulante tan grandes como diferencias del orden de  $10^9$  existentes entre un día soleado y la luz de la luna.

### 4.3 Fraccionamiento del rango sensorial

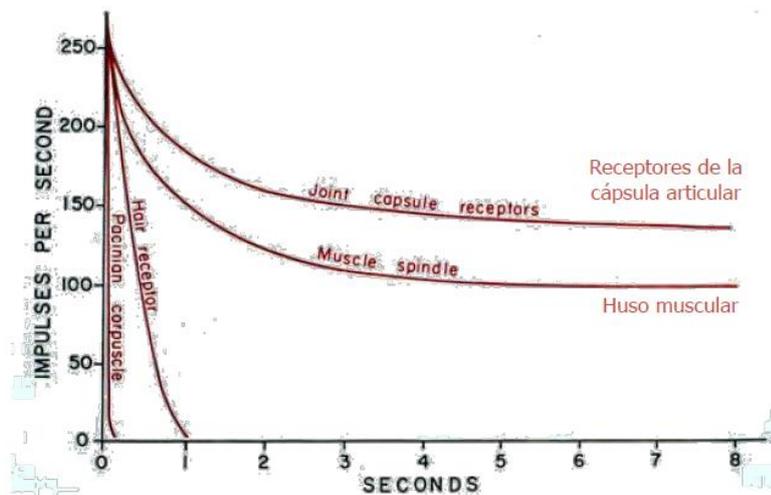
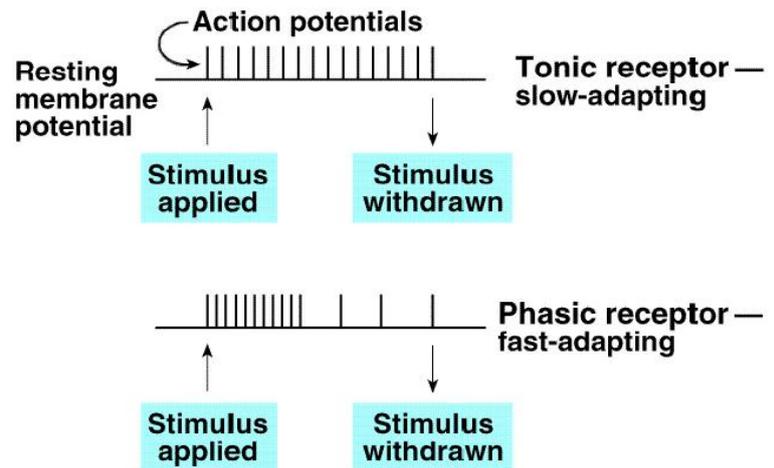
Existen distintos grupos neuronales que detectan rangos de estímulos de distinta potencia. Esto permite la discriminación de estímulos de distinta potencia dentro de un grupo multineuronal. El espectro es mucho mayor cuando se trata de sistemas multineuronales: La sensibilidad de cada célula receptora es diferente frente a un mismo estímulo. De este modo, las unidades sensoriales van siendo progresivamente reclutadas, permitiendo distinguir una gama de estímulos mayor que los de una sola célula receptora. Cuanto más intensos son los estímulos, mas grupos son reclutados y la sensación ocasionada es mayor.



## 5. Adaptación de los receptores

La adaptación es el fenómeno por el cual los receptores, ante estímulos continuos, primero reaccionan con gran intensidad de impulsos, luego disminuyen y finalmente muchos acaban por no responder. Los receptores son más sensibles a los cambios de intensidad del estímulo que a los niveles estáticos de energía. Cabe decir que algunas células nunca se adaptan, como las de la vista, ya que si lo hicieran, quedaríamos ciegos. Según su capacidad de adaptación, los receptores se pueden clasificar en:

- **Tónicos, o de adaptación lenta:** Continúan descargando potenciales de acción mientras persiste el estímulo constante (receptores del dolor o de las articulaciones). Crean sensaciones constantes y duraderas.
- **Fásicos, o de adaptación rápida:** La frecuencia de descarga se reduce rápidamente ante la aplicación de un estímulo sostenido (corpúsculos de Pacini). Crean sensaciones rápidas y cortas.



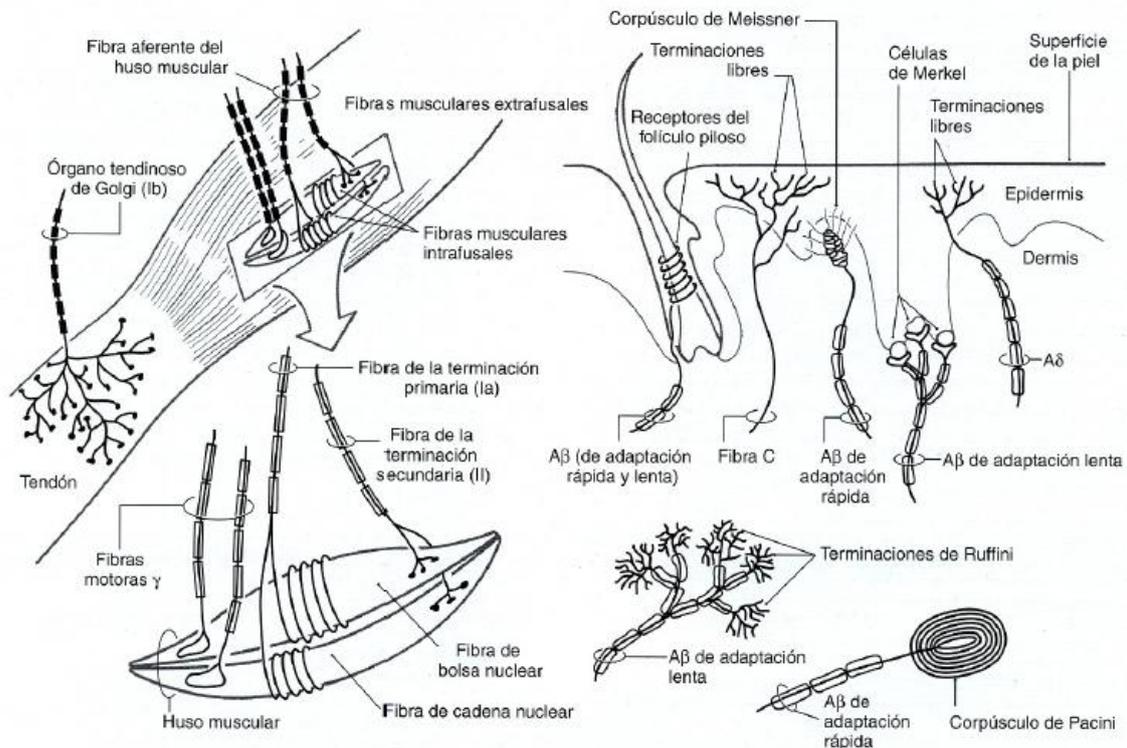
Entre ellos, muchas situaciones intermedias como por ejemplo receptores que presentan primero una respuesta fásica y después dejan una respuesta tónica de menor intensidad (termorreceptores).

Existen diversos mecanismos de adaptación en los receptores:

- Las estructuras anejas sólo dejan pasar señales cambiantes, amortiguando las señales sostenidas (membranas concéntricas de los corpúsculos de Pacini).
- Las moléculas receptoras son destruidas rápidamente por la aplicación de un estímulo repetido (fotopigmentos de los fotorreceptores). Esto permite ver un “video” en vez de imágenes cortadas (webcam → 1080 HD)
- Acomodación de la zona del receptor donde se produce el potencial de acción, por inactivación progresiva de los canales de sodio.

## 6. Vías nerviosas

Como se puede apreciar en la imagen, existen un gran número de receptores distintos. A lo largo de los siguientes párrafos se resumirán. Generalmente se pueden clasificar en mecanorreceptores, quimiorreceptores, fotorreceptores, termorreceptores y nociceptores



### PROPIORRECEPTORES Y MECANORRECEPTORES CUTÁNEOS

Salvo en el caso de los receptores centrales, la información procedente de los receptores viaja en forma de potenciales de acción a través de los nervios periféricos: La de la cabeza, a través de los nervios craneales. La del cuerpo, a través de los nervios espinales hasta la médula espinal.

La velocidad de transmisión de las fibras nerviosas es muy variable (entre 0.5 y 120 m/s): Ej.: La información para mantener el equilibrio en los movimientos rápidos debe ser muy rápida.

Existen dos factores que influyen en este rango tan variable de velocidades:

- El diámetro de la fibra: cuanto mayor sea el diámetro, más velocidad. (más membrana, más canales iónicos, despolarización más rápida)
- Presencia de vainas de mielina, que convierten la conducción en saltatoria (entre los nodos de Ranvier). No necesita recorrer toda la membrana, solo los nódulos.

### **6.1 Clasificación de las vías nerviosas**

Existen dos clasificaciones, una general (para vías sensitivas y motoras) y otra exclusiva para las fibras sensitivas.

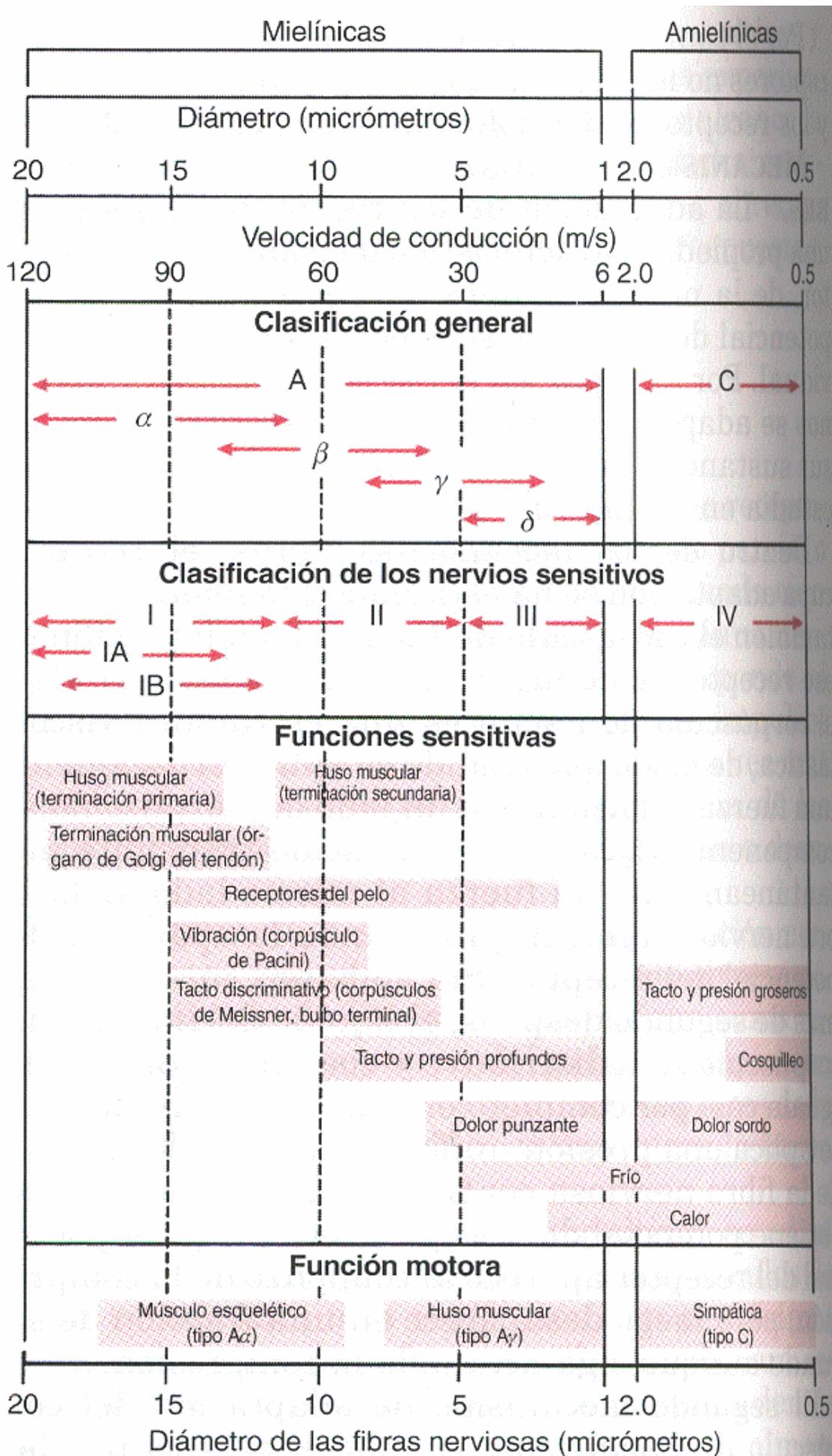
En su clasificación general, las vías se dividen en:

- **Tipo A:** Grandes fibras mielínicas (rápidas). Subtipos:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  (de mayor a menor velocidad).
- **Tipo C:** pequeñas fibras amielínicas (lentas). Constituyen más de la mitad de las fibras sensitivas de los nervios.

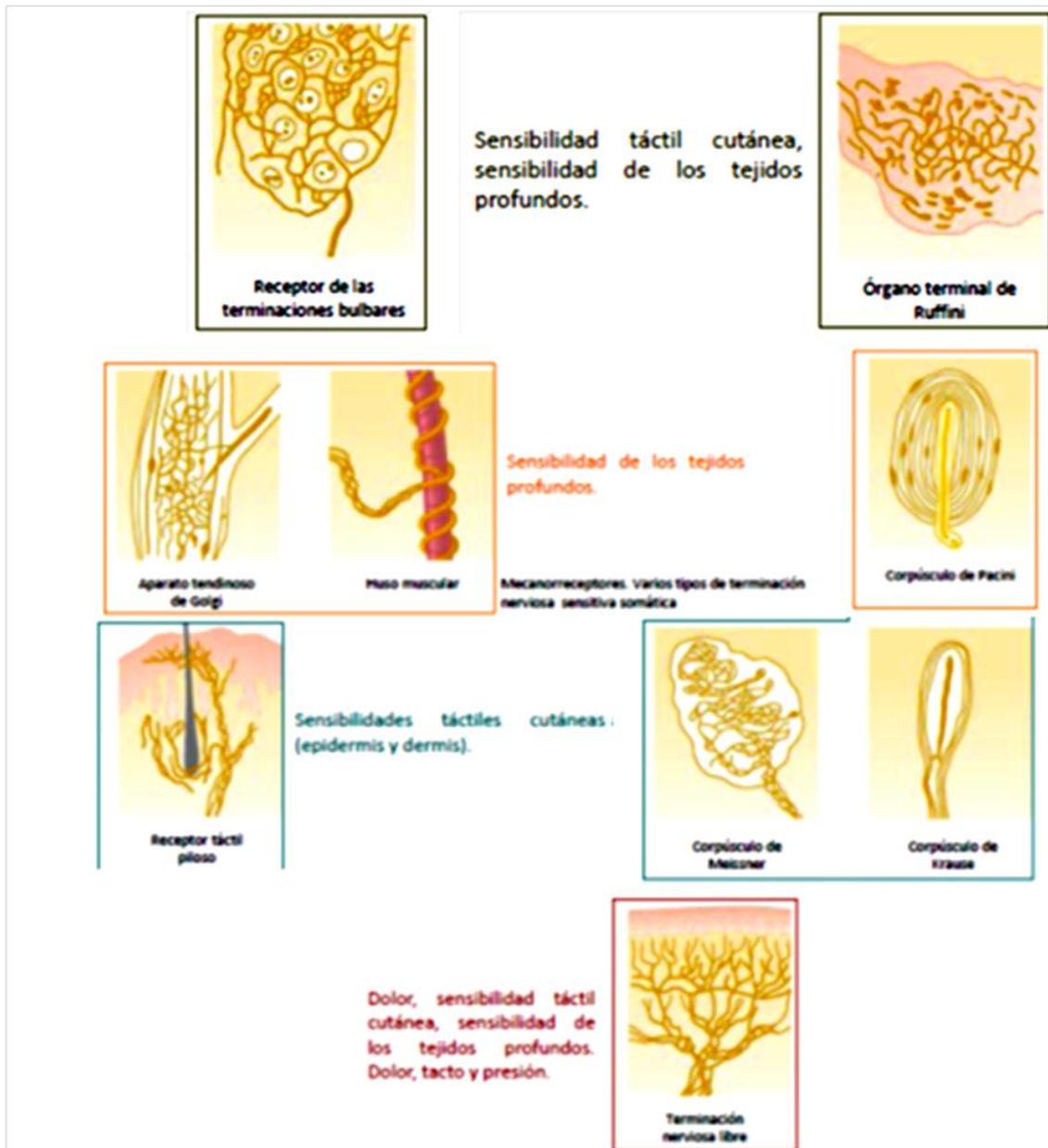
En la clasificación exclusiva de las fibras sensitivas diferenciamos:

- **Grupo IA.** Las más rápidas, ~tipo  $A\alpha$  (alfa). Proviene de los husos musculares.
- **Grupo IB.** Algo más lentas, también ~tipo  $A\alpha$ . Proviene de los órganos tendinosos de Golgi.
- **Grupo II.** ~tipo  $A\beta$  (beta) y  $A\gamma$  (gamma). Tacto discriminativo.
- **Grupo III.** ~tipo  $A\gamma$  y  $A\delta$  (delta). Conducen sensaciones de temperatura, tacto profundo y dolor punzante.
- **Grupo IV.** Amielínicas, ~tipo C. Conducen sensaciones de dolor quemante, picor, temperatura y tacto profundo.

En la siguiente página hay un resumen de lo dicho anteriormente.

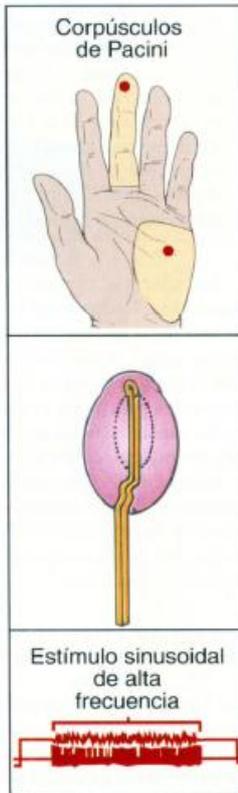


## 6.2 Clasificación de los receptores táctiles

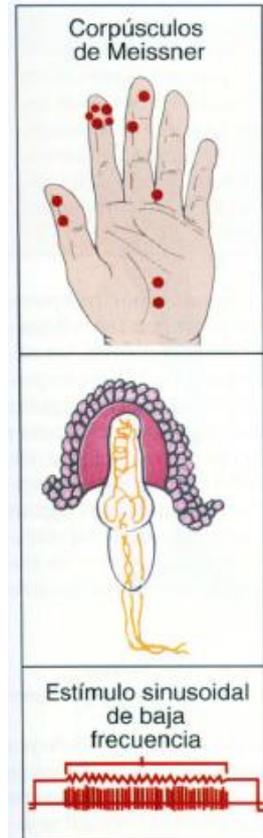


Como se ve en la imagen superior, existen diversos receptores en la piel especializados en detectar estímulos de distintas clases. Cada uno de ellos estará compuesto de diversas vías nerviosas como se verá a continuación.

**1. Terminaciones nerviosas libres:** se encuentran en la piel y otros muchos tejidos detectando tacto y presión (ej. córnea).

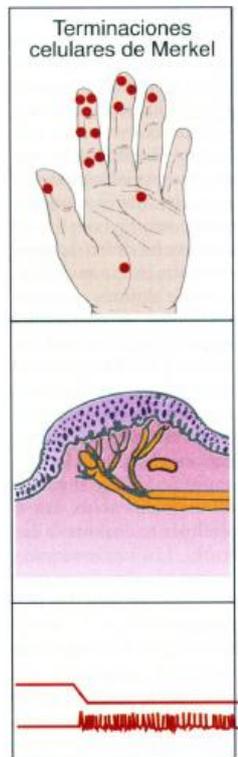


**2. Corpúsculo de Meissner:** se encuentra en la piel desprovista de pelo y poseen una sensibilidad especial, son abundantes en los labios, puntas de los dedos, etc. De rápida adaptabilidad, son muy sensibles a las vibraciones de baja frecuencia (hasta 80 ciclos/segundo).



**3. Corpúsculos de Pacini:** bajo la piel y también profundamente en tejidos fasciales del cuerpo. Sólo se estimulan ante movimientos muy rápidos, porque se adaptan en unas centésimas de segundo. Detectan vibraciones (30-800 ciclos/segundo) y cambios rápidos del estado mecánico de los tejidos.

**4. Discos de Merkel:** receptores táctiles de punta expandida. Transmiten una señal fuerte inicialmente y luego una señal más débil y continua de lenta adaptación. Envían señales de un estado estable de tacto acerca de objetos pegados a la piel. Suelen estar agrupados en un solo órgano receptor llamado *receptor en cúpula de Iggo*.



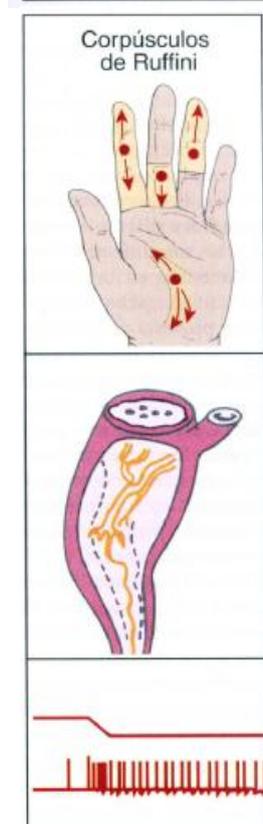
**5. Órganos diana del pelo:** los pequeños movimientos de cualquier pelo del cuerpo excitan a la fibra arrollada a su base. Este receptor se adapta fácilmente contribuyendo a detectar los objetos que se ponen en contacto con la superficie corporal.

**6. Corpúsculos de Ruffini:** en las capas profundas de la piel y tejidos profundos. Son terminaciones nerviosas muy ramificadas y encapsuladas. Se adaptan muy poco. Son óptimas para señalar los estados estables de deformación de piel y tejidos y las sensaciones de presión.

**Receptores de adaptación lenta (Merkel y Ruffini).** Capaces de señalar variaciones de estímulos durante varios minutos. Los que responden a una estimulación prolongada y constante.

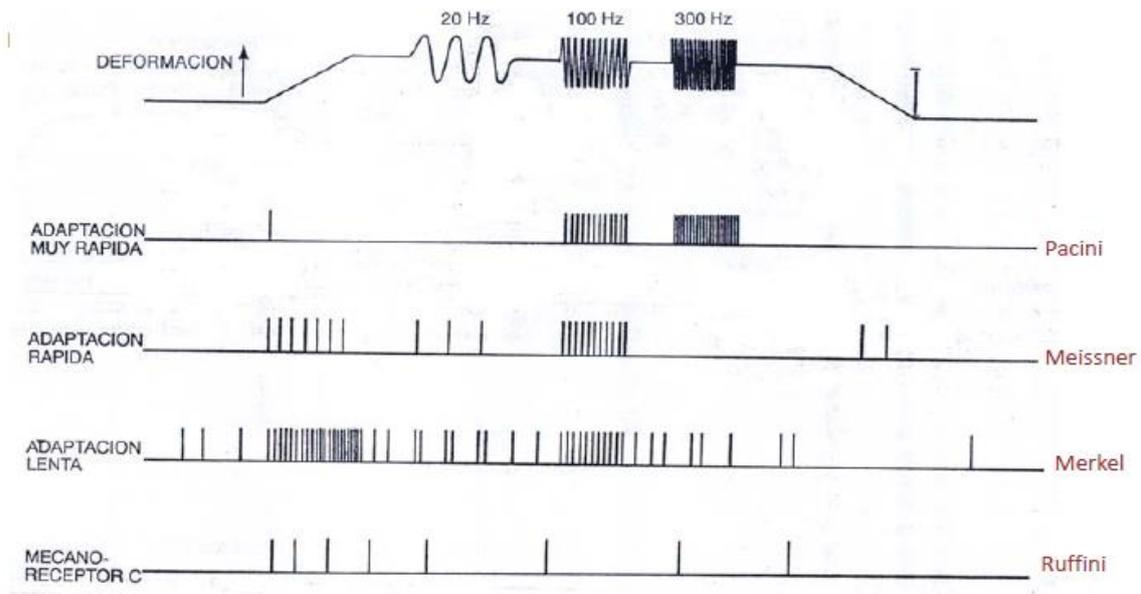
**Receptores de adaptación rápida (Pacini y Meissner)** dejan de activarse en respuesta a un estímulo constante y sólo lo hacen cuando aumenta o disminuye la intensidad del mismo.

En la página siguiente se puede ver un esquema de la adaptación de estos receptores y una tabla de funciones de los receptores más comunes según su función



<b>Tacto y presión</b>			<b>Temperatura</b>	
Tacto fino	Tacto continuo	Presión y deformaciones	Frio	Calor
Corpúsculo de Meissner	Discos de Merkel	Corpúsculo de Pacini	Corpúsculo de Krause	Corpúsculo de Rufini

<b>Dolor</b>	<b>Propiocepción</b>		
Terminaciones nerviosas libres	Articulaciones	Músculos	
	Receptores cenestésicos	Huso muscular	Aparato Tendinoso de Golgi



La mayoría de los receptores citados (salvo las terminaciones nerviosas libres) comunican con vías nerviosas de tipo II, es decir, A $\beta$ , lo que quiere decir que son fibras bastante veloces (velocidad de conducción 30-70 m/s)

Las terminaciones nerviosas libres están formadas por fibras pequeñas de tipo III o A $\delta$ , que son más lentas (5-30 m/s). Pueden estar formadas incluso por fibras tipo IV/C, es decir, amielínicas, las más lentas (<2 m/s). Dependiendo de la importancia del estímulo, este se transmitirá con más velocidad o menos.

Este es un esquema de lo dicho anteriormente.

Erlanger-G Classification	Diameter	Myelin	Conduction velocity	Associated <u>sensory receptors</u>
A $\alpha$	13-20 $\mu\text{m}$	Yes	80-120 m/s	Primary receptors of <u>muscle spindle</u>
A $\alpha$	13-20 $\mu\text{m}$	Yes	80-120 m/s	<u>Golgi tendon organ</u>
A $\beta$	6-12 $\mu\text{m}$	Yes	33-75 m/s	Secondary receptors of <u>muscle spindle</u> All <u>cutaneous mechanoreceptors</u>
<u>A<math>\delta</math></u>	1-5 $\mu\text{m}$	Thin	3-30 m/s	<u>Free nerve endings</u> of touch and pressure <u>Nociceptors</u> of <u>neospinothalamic tract</u> Cold <u>thermoreceptors</u>
<u>C</u>	0.2-1.5 $\mu\text{m}$	No	0.5-2.0 m/s	<u>Nociceptors</u> of <u>paleospinothalamic tract</u> Warmth receptors

Hay que saber que las sensaciones de cosquilleo y picor son transmitidas por terminaciones nerviosas libres mecanorreceptoras de rápida adaptación. Estas se encuentran en la superficie de la piel y se transmiten por fibras amielínicas pequeñas de tipo C.

## 7. Transmisión de las señales somáticas al SNC

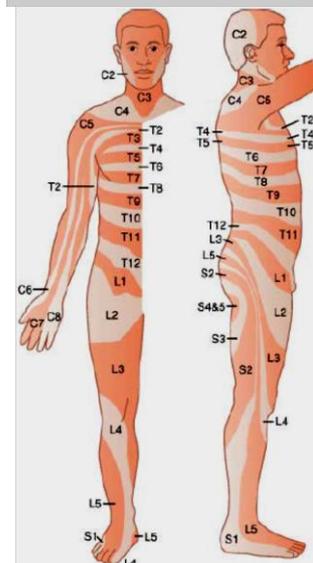
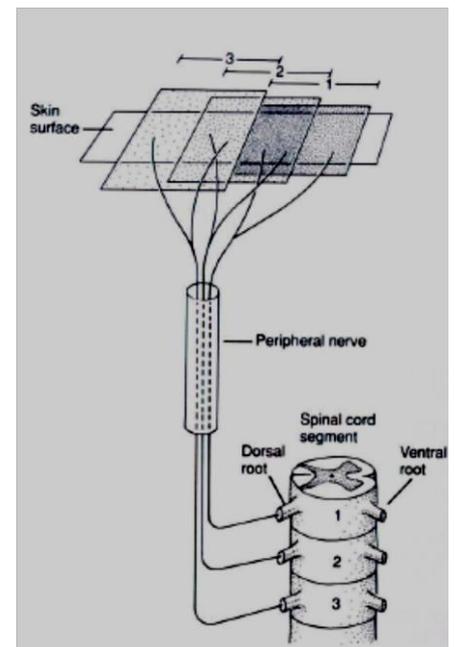
La transmisión de las señales al SNC comienza cuando la vía nerviosa conectada al receptor es excitada y se produce un PA que recorrerá la vía hasta llegar al SNC. Las vías nerviosas llegan a la médula espinal y de ahí a otros puntos que interpretarán la señal.

### 7.1 Médula espinal

Toda la información sensorial llega a la médula espinal a través de las **raíces dorsales de los nervios espinales**. Cada nervio raquídeo se encarga de una sección segmentaria de la piel más o menos diferenciada, pero en muchas ocasiones estas secciones se solapan en gran parte de su superficie. Cada una de estas secciones de la piel se llaman **dermatomas o dermatomas**.

Una vez los impulsos alcanzan la médula a través de las raíces, se propagarán mediante dos vías:

- **Sistema de la columna dorsal-lemnisco medial.** Transporta señales básicamente en sentido ascendente, por las columnas dorsales de la médula hacia el bulbo raquídeo en el encéfalo. Hacen sinapsis y cruzan la línea media para ascender a través del tronco del encéfalo hasta el tálamo.
- **Sistema anterolateral.** Nada más entrar en la médula hacen sinapsis en las astas anteriores de la sustancia gris medular, cruzan al lado opuesto y ascienden a través de las columnas blancas anterior y lateral llegando a la parte inferior del tronco del encéfalo y al tálamo.



### Sistema de la columna dorsal-lemnisco medial.

Está formado por grandes fibras nerviosas miélicas cuya velocidad de conducción es de 30-110 m/s. Permite una gran orientación espacial respecto a su origen y proporciona información rápida y fidelidad espacio-temporal. Las sensaciones más diferenciadas que transmite son:

- Sensaciones táctiles que exigen un grado importante de localización de un estímulo.
- Graduaciones sutiles de intensidad
- Sensaciones fásicas y vibratorias.
- Movimiento sobre la piel
- Sensaciones posicionales desde las articulaciones
- Presión graduada sutilmente

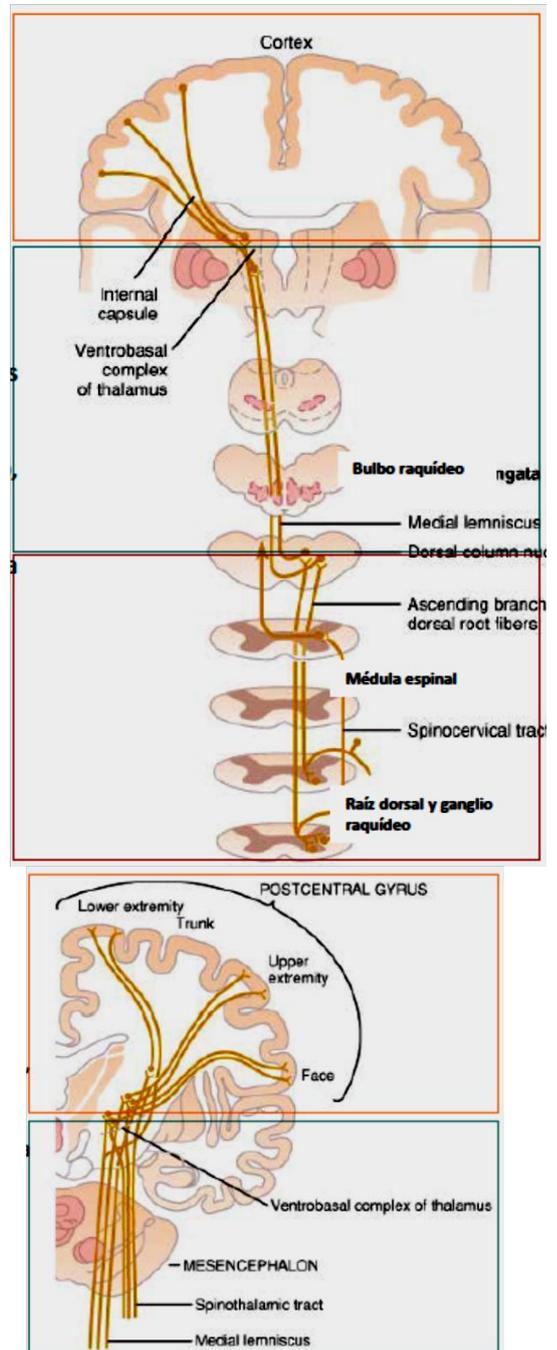
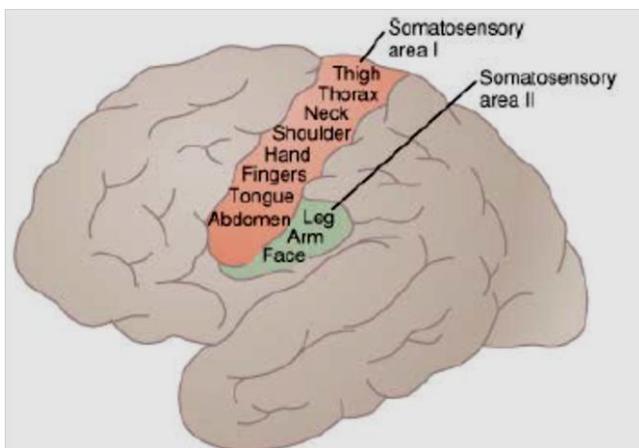
Está compuesta por neuronas de distinto orden. De más lejano a menos del encéfalo distinguimos:

**Neuronas de primer orden** ascienden hasta el bulbo por las columnas dorsales, sinapsis en los núcleos de la columna dorsal.

**Neuronas de segundo orden** se decusan (se ponen en forma de cruz) y ascienden hasta el tálamo, donde en el complejo ventrobasal hacen sinapsis.

**Neuronas de tercer orden** ascienden hasta la corteza cerebral (área sensitivas somáticas I y II).

Más abajo se ve el último trayecto de la vía dorsal-lemnisco medial detallado. También se ve la localización de las sensaciones en la corteza cerebral.



### Sistema anterolateral.

Está compuesto por fibras mielínicas más pequeñas, pero que alcanzan velocidades de conducción de hasta 40 m/s. Aporta una orientación espacial más baja. La información no necesita rapidez ni mucha fidelidad espacial. A pesar de esto, transmite un amplio espectro de modalidades sensoriales (dolor, calor, frío, etc.):

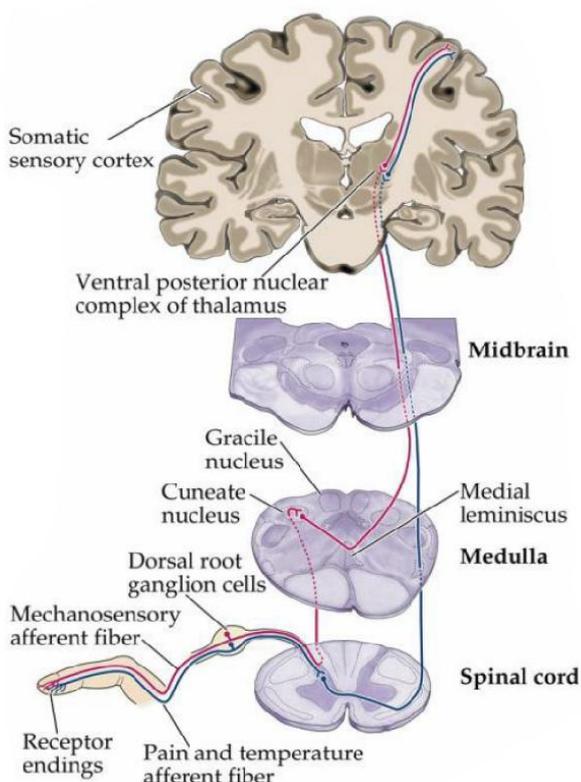
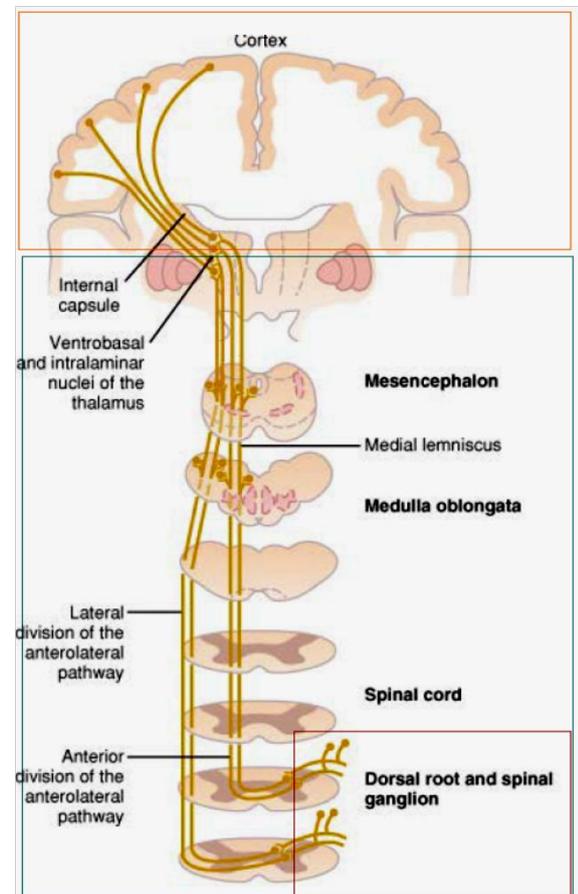
- Dolor
- Sensaciones térmicas: calor y frío.
- Sensaciones de presión y tacto grosero.
- Picor-cosquilleo.
- Sensaciones sexuales.

Este sistema también está formado por neuronas de distinto orden. No obstante en lo que hay que centrar la atención en este sistema es en el recorrido de las fibras.

**Las fibras nerviosas sensitivas** de primer orden, llegan a la médula a nivel de la raíz dorsal, donde sinaptan con las fibras anterolaterales de la médula espinal.

**Las fibras anterolaterales** de la médula espinal cruzan de inmediato la comisura anterior de la médula y ascienden hacia el encéfalo a través de diversos fascículos, sinaptando en distintos posibles núcleos del tronco del encéfalo (señales dolorosas) y del tálamo (núcleos ventrobasal e intralaminar, señales táctiles). Finalmente nuevas fibras nerviosas de tercer orden se proyectan desde el tálamo hacia la **corteza cerebral**.

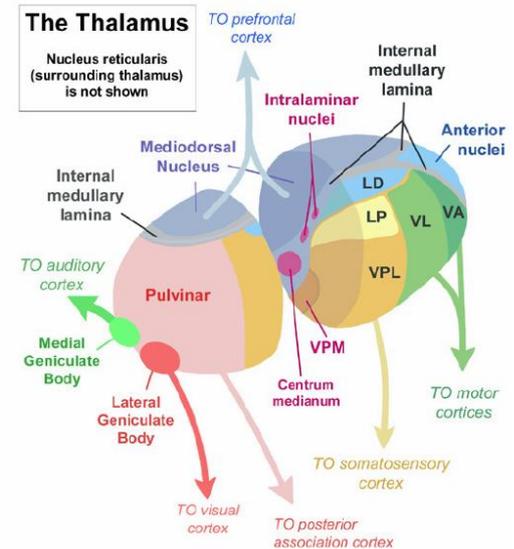
En la imagen de abajo se ven las dos vías en el mismo esquema **dorsal-lemnisco medial** y **anterolateral**.



Es importante saber que en los sistemas nerviosos sensoriales siempre existen al menos 2 relevos nerviosos antes de alcanzar la corteza cerebral, uno al llegar el impulso a la médula espinal y otro al alcanzar el tálamo.

## 7.2 Tálamo

El tálamo es un órgano que actúa como “router” en el SNC. Recibe los impulsos que llegan de la médula y los dirige hacia la zona que les corresponde en la corteza cerebral. Las fibras del lemnisco interno y algunas del sistema anterolateral terminan formando en conjunto el complejo ventrobasal. Desde él parten fibras nerviosas de tercer orden que llegan fundamentalmente a la circunvolución parietal ascendente de la corteza cerebral (área de la sensibilidad somática I).



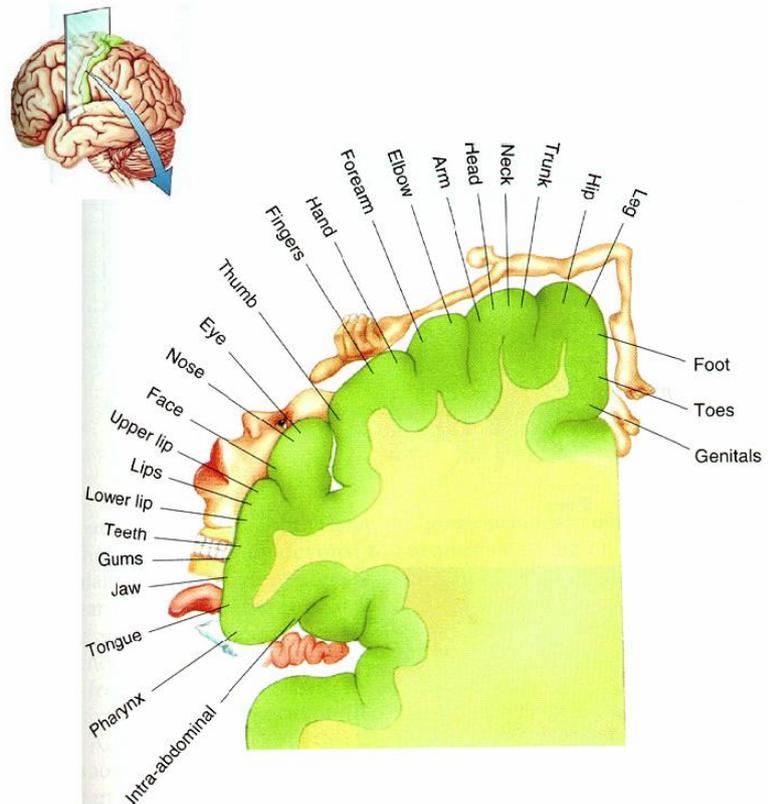
## 7.3 Corteza sensorial somática

La corteza cerebral es el lugar donde se localizan las sensaciones. En la parte anterior del lóbulo parietal se hallan las **áreas de sensibilidad somática I y II**. A ellas llegan procedentes del tálamo las fibras nerviosas de tercer orden.

El **área de la sensibilidad somática I** posee una gran capacidad de localización de las distintas partes del cuerpo. En cambio en el área de sensibilidad somática II el poder de localización es escaso.

Cada lado de la corteza recibe información sensorial del lado opuesto del cuerpo, las fibras están cruzadas!!

**Labios, cara y pulgar:** grandes áreas en proporción directa con el número de receptores especializados en esas partes del cuerpo. Aunque son zonas relativamente pequeñas en superficie, presentan tantos receptores que la superficie del cortex que abarcan es muy grande.



## 8. Procesamiento de la información

Durante y después del transporte al SNC, la información sensorial debe procesarse y seleccionarse. Solo un 1% de los estímulos que recibimos son captados. Esto se debe a la modulación de señales y al procesamiento de la información.

### 8.1 Núcleos de relevo.

Los **núcleos de relevo** sirven para procesar la información sensorial y determinan si se transmite o no a la corteza cerebral. Se encuentran antes de llegar al tálamo.

Las fibras aferentes primarias convergen en neuronas de segundo orden y de allí en neuronas de tercer orden y superiores. La información recibida por las neuronas sensitivas de segundo orden es mayor y más compleja que las neuronas receptoras.

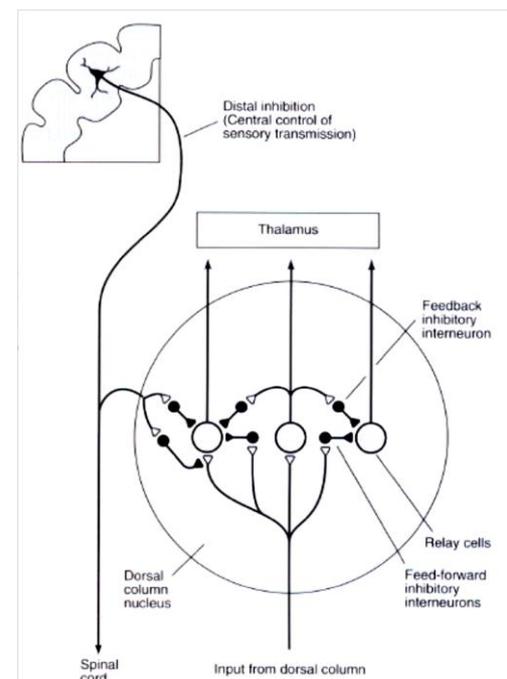
Las **interneuronas inhibitoras** presentes dentro de cada núcleo de relevo ayudan a afinar el contraste entre los distintos estímulos (efecto de la inhibición lateral). Son las encargadas de la modulación de las señales nerviosas. Son activadas por tres vías distintas y pueden inhibir a las neuronas de relevo o proyección.

- **Conexiones inhibitoras de prealimentación** (se ve luego)
- **Conexiones inhibitoras de retroalimentación** (se ve luego)
- **Inhibición distal desde las neuronas de la corteza cerebral.** Existen señales que circulan en dirección contraria al SNC. Estas señales pueden provenir del cortex y estar destinadas a inhibir o intensificar ciertas señales.

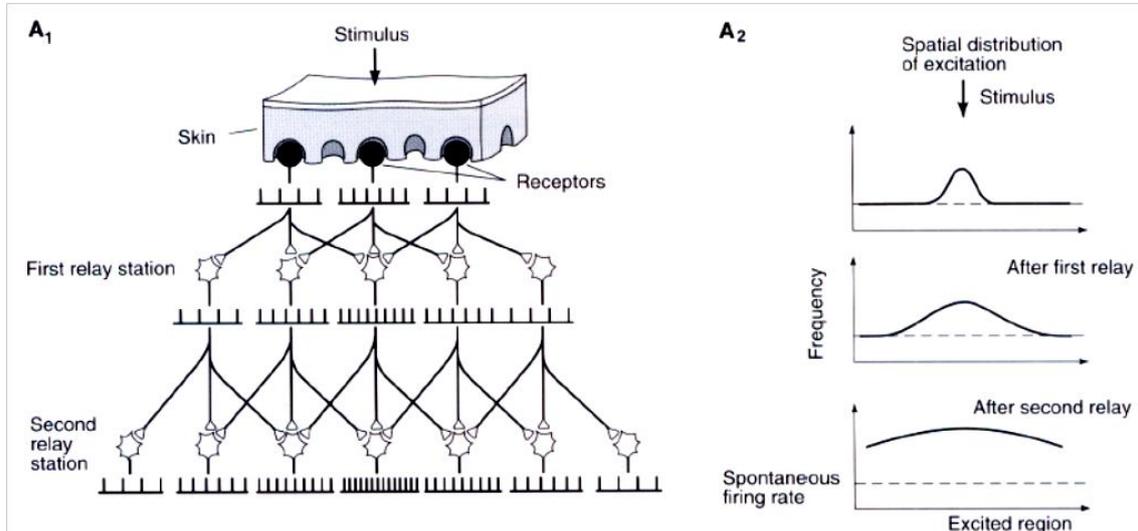
Estas inhibiciones permiten que la señal sea transmitida con mayor precisión. En la imagen, el impulso podría haber contratado a más neuronas para la transmisión de la señal pero mediante la inhibición lateral la señal es más precisa. Esto permite una localización mejor del estímulo desde su origen.

### 8.2 Interneuronas

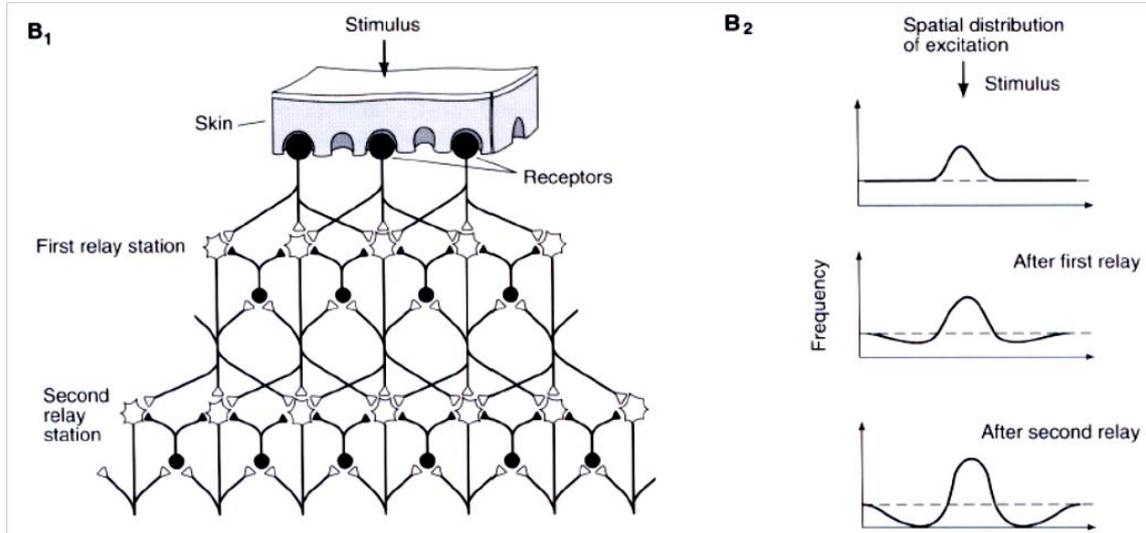
Las interneuronas son esenciales para el correcto funcionamiento del SN. Se encargan de modular el impulso nervioso y discriminar los distintos estímulos para decidir si deben alcanzar el cortex cerebral o no. Se encuentran en una proporción mucho mayor a la de las neuronas excitables y de estas, el tipo que destaca en proporción es el de las interneuronas inhibitoras. No obstante es importante destacar que se da codificación y modulación en todo tipo de neuronas, excitables e interneuronas. En las próximas imágenes se explica la función inhibitoria de las interneuronas.



En la imagen se muestra un circuito nervioso sin interneuronas inhibitorias. Como se ve, a medida que se transmite el impulso este se intensifica más y cada vez contrata más neuronas. Llega un momento en el que todas las neuronas de la vía están transportando ese impulso y es imposible diferenciar en que región de la piel se produjo el estímulo. La dispersión lateral aumenta con cada sinapsis.



Al añadir interneuronas inhibitorias por retroalimentación, se evita la dispersión lateral. El impulso se transmite con la misma eficacia pero al no contratar neuronas laterales, todavía es posible discriminar la procedencia del estímulo. La zona de activación se estrecha y reduce la región excitadora.



### 8.3 Circuito neuronal básico en el sistema de la columna dorsal-lemnisco medial.

Existe divergencia en cada etapa sináptica. A medida que avanza el estímulo se activan más neuronas. Las neuronas corticales con un mayor grado de descarga son las que ocupan una zona central del campo cortical. Un estímulo débil sólo causa un disparo en las neuronas más centrales. Un estímulo más intenso provoca la descarga de mayor número de neuronas pero las que ocupan la posición central lo harán a una mayor frecuencia. La intensidad del estímulo condicionará tanto el número de neuronas a las que se extiende como la respuesta en PA a ese estímulo.

¿Cómo podemos no obstante diferenciar dos estímulos que se produzcan en receptores cercanos entre sí?

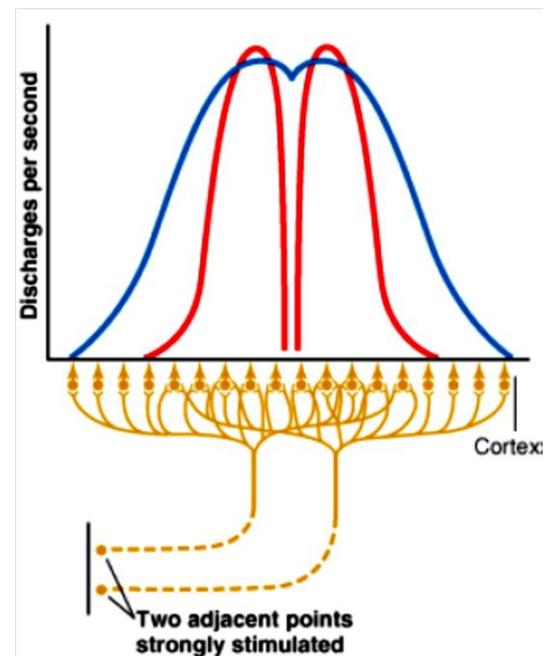
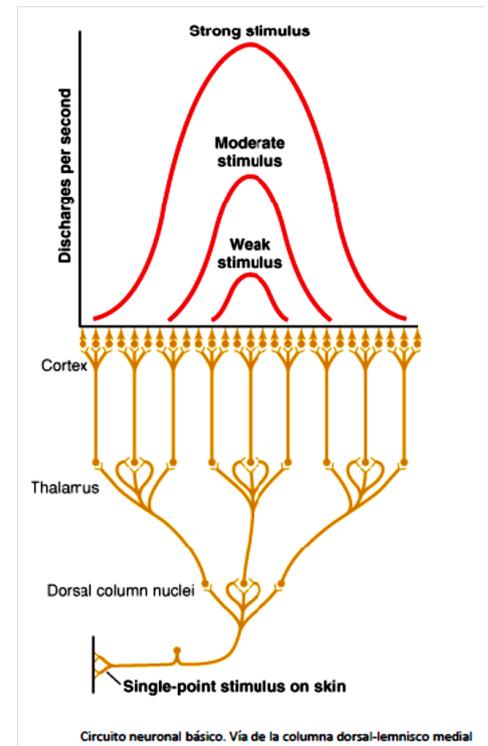
Tenemos la capacidad de discriminar entre dos puntos en los que se produzca un estímulo al mismo tiempo. La capacidad discriminatoria entre dos puntos es distinta en las distintas regiones del cuerpo.

*En las yemas de los dedos:* 1 o 2 mm de distancia.

*En zonas de la espalda:* 30-70 mm.

Esta sensibilidad va en función de los receptores específicos presentes.

La figura muestra la transmisión de señales hacia la corteza a partir de dos estímulos puntuales adyacentes. En azul **sin inhibición lateral**. En rojo con la **inhibición lateral presente**.



## 9. Sentido de la posición y el movimiento

Las sensaciones de posición y movimiento del cuerpo y sus extremidades son sensaciones propioceptivas que consisten en la percepción de la orientación de las diferentes partes del cuerpo (sensación de posición estática) y en la sensación de movimiento de las articulaciones (cinestesia). Se emplean tanto los receptores cutáneos del tacto como los receptores próximos a las articulaciones.

Unos receptores especialmente importantes son los husos musculares, esenciales para controlar los movimientos musculares. Los corpúsculos de Pacini junto con los husos musculares están especialmente adaptados para detectar una velocidad de cambio rápida.

En la siguiente gráfica se ve un ejemplo de 5 estímulos diferentes que envían los receptores de la rodilla en función de la curvatura en la que se encuentre.

