

# Módulo 1. Sistemas sensoriales

## Unidad 1.1 Sensaciones y movimiento humano

Este curso tiene el objetivo de acercar la neurobiología a las prácticas deportivas y también a las prácticas motrices vinculadas a la salud. Desarrollaremos un marco introductorio general y global en cuanto a las neurociencias en su relación con la motricidad humana. El propósito es procurar un acercamiento de los profesionales del ejercicio físico a un tema que, por su complejidad, tiende a ser dejado de lado. No obstante, su aplicación puede contribuir al entrenamiento de la técnica, al aprendizaje motor y a la *performance* deportiva, como así también a las intervenciones en salud a través del ejercicio adaptado. Esta clase introductoria intenta facilitar la comprensión global de conceptos, tentar a los interesados a seguir profundizando en estos estudios y atreverse a implementar aplicaciones específicas.

Recordemos que, en realidad, lo que existe es la **neurobiología**. Hoy se habla de las neurociencias como un conjunto de disciplinas que tiene como *target* el estudio del cerebro humano y sus aplicaciones a distintas dimensiones y disciplinas (como por ejemplo, el *marketing*, la toma de decisiones en el marco empresarial, entre otras). Lo que existe realmente, entonces, es la neurobiología. De ella tomaremos algunos elementos que permitan, no solamente comprender el porqué de algunas extraordinarias *performances* deportivas, sino también la causa del fallo, los errores, el fracaso en el logro de algunos objetivos. Se presentarán metodologías existentes y se propondrán nuevas posibilidades.

### 1.1.1 Definiciones y componentes de los sistemas sensoriales

De la cantidad y calidad de información que puedan recoger nuestros diferentes receptores depende la naturaleza de todo el posterior procesamiento de información. Difícilmente la percepción tenga más precisión que una información sensorial; del mismo modo, es poco probable que la representación ideomotora llegue a ser mejor que la percepción misma. Siguiendo el mismo razonamiento, la lógica motriz, la toma de decisión y programación motora no serán mejores que los pasos anteriores. Mucho menos lo será el control motor una vez que la descarga eferente o motriz propiamente dicha abandona la corteza cerebral. Es por ello que, en el proceso de adquisición, perfeccionamiento, estabilización y disponibilidad variable de una praxis voluntaria; tenemos una dependencia muy grande de la cantidad y calidad de información que puedan llegar a proveer nuestros sistemas sensoriales. Entonces, conviene empezar el estudio de nuestra asignatura por este tema.

Entre las funciones más importantes del sistema nervioso está la de obtener información sobre las condiciones físicas y químicas del medio interno y externo del cuerpo y las variaciones que este presenta. Esta información resulta crucial para conservar la homeostasis, contrarrestar la heterostasis y adaptarse a las condiciones de medio. En todos los sistemas sensoriales hay características comunes, tanto en anatomía como en la función básica de sus componentes.

Una de las grandes funciones de nuestro sistema nervioso es recoger información del medio (tanto externo como interno). De la calidad y relevancia de esta información y de su posterior interpretación depende la generación de conductas que permitan adaptarnos al entorno (con las cuales, además, se evitan problemas que puedan dejarnos sin chances de supervivencia) y también transformar el contexto y mejorar las condiciones actuales de existencia.

Empezaremos definiendo un **sistema sensorial** como un conjunto de órganos, vías y centros de procesamiento neural especializados en recoger información del medio (tanto externo como interno) cuya integración posibilita gatillar los pasos ulteriores relativos a la programación motriz y la ejecución propiamente dicha. De hecho, los aportes de los sistemas sensoriales son cruciales en los ajustes motores una vez que el movimiento se dispara desde la corteza cerebral. Se trata de un conjunto de estructuras que se han perfilado a lo largo de la historia evolutiva para recoger información relevante que necesitamos para el desarrollo ulterior de conductas adaptativas.

### **Componentes de un sistema sensorial**

Un sistema sensorial no está compuesto solamente por receptores, sino también por toda una serie de estructuras que complementan el trabajo de estos. También tenemos vías aferentes o vías de transmisión de esa información captada por ellos, llamadas **vías de la sensibilidad**. Además, existen centros de relevamiento o conmutación sináptica, tanto premedulares como precorticales. Estos centros de procesamiento de la información modifican la misma sustancialmente antes de que esta tenga acceso a las cortezas primarias.

También tenemos áreas de proyección primaria en la corteza cerebral donde esa información es recibida inicialmente y continúa con su ulterior procesamiento. Sumamos otras estructuras, como por ejemplo, los anexos o parareceptores, que protegen y colaboran con la captación y la amplificación del estímulo.

Comenzaremos con el análisis de los que son los componentes de un sistema sensorial y de cómo y de qué manera se recoge información útil para configurar programas, además del fenómeno de aprendizaje motor. Podemos distinguir cinco, a saber:

- **Receptores:** estructuras anatómicas histológicas especializadas en la recepción y transducción de un estímulo sensorial determinado.
- **Pararreceptores:** estructuras anatómico-histológicas asociadas al receptor, que protegen, colaboran y amplifican la captación de la información.
- **Vías aferentes:** conformadas por un conjunto de neuronas sensitivas que transportan la información hacia centros superiores.
- **Centros de integración:** son centros anatómicos dentro del sistema nervioso central y periférico que sirven de relevo y conmutan la información (medula espinal, ganglio raquídeo, tálamo).
- **Áreas de proyección cortical:** son sectores específicos de la corteza cerebral donde arriba en primera instancia la información sensorial para su posterior análisis (17, 42, 3, 1, 5, 7).

**Figura 1: Componentes del sistema sensorial**



Fuente: elaboración propia.

Nos concentraremos en aquellos sistemas sensoriales que proveen información valiosa para los aprendizajes motores, como por ejemplo, la información propioceptiva, la sensibilidad táctil y háptica, la sensibilidad vestibular, la visión y la audición. También abordaremos aquellos que contribuyen a la resolución de problemas motrices, tanto en la vida deportiva como en las actividades de la vida diaria.

El primero de los elementos que componen los sistemas sensoriales son los **receptores** y por ellos comenzaremos el análisis. Son células no neurales, o bien terminales nerviosas adaptadas y especializadas para la recolección inicial de información, tanto del medio externo como del medio interno. La información del medio ambiente se transmite en forma de mensajes ondulantes o analógicos, como por ejemplo, a manera de ondas sonoras o luminosas, y una de las grandes funciones que tienen estas células especializadas es transformar esta información en códigos digitales. La manera en que nuestro sistema nervioso decodifica estos estímulos es, precisamente, digital. Lo que circula en nuestro sistema nervioso no es información de tipo analógico, sino de tipo digital. De manera muy similar a un código Morse, por nuestras neuronas se transmiten potenciales de acción con distintas frecuencias, es decir, mensajes neurales formados a partir de una modificación de la información de la naturaleza en un tipo de información que circula específicamente en nuestro sistema nervioso, tanto central como periférico.

## Clasificación

Los criterios para proponer una taxonomía son variados, ya que dependen del punto de vista inicialmente considerado. Uno de esos criterios es, precisamente, la procedencia del estímulo o bien el origen de dicha procedencia. Desde este punto de vista, una de las formas más tradicionales de clasificación es la que distingue entre **interoceptores** y **exteroceptores**. Cuando hablamos de interoceptores, nos referimos a aquellos receptores que se han perfilado para recoger información de nuestro medio interno. Algunos entienden que existen dos tipos de interoceptores: *visceroceptores* y *propioceptores* e incluyen dentro de los últimos no solo a aquellos que brindan información de los tendones, músculos y articulaciones, sino también a los que proporcionan información proveniente del aparato vestibular, que da cuenta de la posición de nuestra cabeza, su aceleración, desaceleración y rotaciones. Incluso, algunos optan por incluir al tacto y a la nocicepción como modalidad de interocepción.

Dentro de los exteroceptores (receptores de distancia), tenemos receptores donde la información no toma contacto directo con nuestras estructuras (como la vista y el oído) y otros como receptores de contacto (gusto, olfato o el tacto) donde el impacto es necesario. El tacto es un sentido que no todos coinciden en incluirlo, ya sea como parte de los interoceptores o los exteroceptores. Quizás, en definitiva, todos los sentidos sean modalidades del tacto.

- **Interoceptores**

- **Visceroceptores:** informan sobre el estado de nuestros órganos no vinculados directamente a la postura y el movimiento (se incluyen aquí los sistemas que aportan información vascular, cardíaca, respiratoria, del tracto gastrointestinal)

e inclusive de los sistemas endócrino e inmune, sin dejar de lado los nociceptores).

- **Propioceptores:** incluimos no solo a aquellos que brindan información de los tendones, músculos y articulaciones, sino también a los receptores que proveen información del aparato vestibular. Sobre todo, fascias (es decir, los diferentes sistemas especializados en el control de la postura y el movimiento).

- **Exteroceptores:**

- Visión.
- Audición.
- Tacto.
- Gusto.
- Olfato.

Otra forma de clasificación es por la modalidad del estímulo. Desde esta perspectiva podemos enumerar:

- **Fotoceptores:** son sensibles al estímulo lumínico.
- **Mecanoceptores:** son sensibles a estímulos de deformación mecánica.
- **Termoceptores:** son sensibles a estímulos térmicos (internos y externos).
- **Quimioceptores:** permiten captar el estado de las concentraciones de distintos componentes químicos en nuestro organismo.
- **Electroceptores:** son sensibles a estímulos eléctricos naturales.

Existen diversas clasificaciones para los receptores pero todos tienen precisamente la función de recoger información y transformarla en un tipo de dato susceptible de ser procesado por nuestro sistema nervioso (tanto periférico como central).

## 1.1.2 Fisiología sensorial

### Principios de fisiología sensorial

A continuación, describiremos algunas funciones inherentes a los sistemas sensoriales para entender cómo influyen en nuestras prácticas corporales. El conocimiento de estos aspectos permite entender algunos fenómenos como la hipertonía muscular afuncional, las técnicas de FNP (Facilitación Neuromuscular Propioceptiva), las dificultades para la recolección de información y aprendizaje motor, entre otros. Podremos aplicar estos conocimientos a nuestras prácticas de entrenamiento.

Todos los sistemas sensoriales tienen una **neurona aferente**, un **centro de integración o conmutación**, como así también un **área de proyección primaria** y una **vía eferente** para modular motrizmente la actividad. Una neurona aferente es aquella que transmite la información desde el receptor a los centros de integración y a nuestro SNP (Sistema Nervioso Periférico). Algunas de estas neuronas sensitivas revisten particular interés, como por ejemplo las IA, IB y la tipo IIA, que proveen información propioceptiva hacia el sistema nervioso central. De la calidad de información que transmitan (sin dejar de lado la tarea del receptor mismo) depende, en gran parte, la posibilidad de reconocer nuestras posiciones y regular finalmente el control del movimiento.

Los centros de integración precorticales son puntos de conmutación del estímulo, en donde gran parte del mismo se filtra o se mezcla antes de seguir su trayecto hacia la corteza cerebral. Por ejemplo, la información captada desde nuestro cuerpo por propioceptores (fibras intrafusales, órganos de Golgi) es modulada en centros de conmutación premedulares que se encuentran en los ganglios raquídeos. La **médula espinal**, por su parte, es un pequeño cerebro integrador de información con capacidad de modificarla antes de que siga su periplo hacia las estructuras superiores. El **tálamo** es otro centro donde la información es conmutada antes de seguir su trayecto hacia la corteza cerebral. Observamos que la información que finalmente llega a la corteza cerebral y a las áreas de proyección primaria dista mucho de aquella que inicialmente modificó el potencial de reposo de nuestros receptores.

## Elementos de fisiología sensorial

Para comprender un poco mejor las bases de la fisiología sensorial, resulta necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Estímulo adecuado: hace referencia al** tipo de información que permite sacar al receptor del estado de reposo. Por ejemplo: el estímulo adecuado de los propioceptores musculares es la deformación longitudinal de las fibras intrafusales, específicamente en su porción central. Esto no quiere decir que, en situaciones determinadas, puedan responder a otro tipo de estímulo. El estímulo adecuado para activar los receptores articulares es, entre otros, la compresión, que permite modificar el estado en que se encuentran tales receptores. El estímulo adecuado para activar el sistema auditivo son las vibraciones del medio aéreo, con una frecuencia determinada, que son captadas por el tímpano y transmitidas al oído medio e interno. Todos los sistemas sensoriales responden a estímulos adecuados que permiten promover la modalidad sensorial para la que se han especializado.
- **Unidad sensorial y campo receptivo:** refiere a la totalidad de receptores que están inervados por la misma neurona sensitiva. Tenemos sectores en nuestro cuerpo en

los que una neurona sensitiva toma un escaso número de receptores, por lo tanto, necesitamos mayor cantidad de neuronas sensitivas para cubrir la totalidad de ese sector. En estos sectores con mayor densidad receptiva, podemos tener un acceso discriminado de la información. En el caso del tacto, por ejemplo, existe gran cantidad de receptores en la piel que se encuentran inervados por una sola neurona sensitiva.

Podemos hacer una pequeña experiencia con dos escarbadiantes: si usted los coloca separados a una determinada distancia y comprime, probablemente sienta dos estímulos. En cambio, si los aproxima lentamente, comenzará a sentir un solo estímulo en lugar de dos. Esto sucede porque dicho estímulo toma el mismo campo sensorial y se genera una sola sensación de pinchazo en lugar de dos. Los campos receptivos son muchos más pequeños en los lugares de nuestro cuerpo que requieren un procesamiento mucho más fino de la información (por ejemplo, en la mano, labios, dedos); y son mucho más grandes en los lugares que recogen menos cantidad de información de naturaleza táctil (pantorrillas, muslos, espalda).

- **Transducción y conversión analógico-digital:** se trata de los dos fenómenos interesantes de explicar. Tenemos a nuestro receptor en una condición que se denomina potencial de reposo (estado químico del receptor) y que se corresponde con una determinada concentración de iones, algunos con carga positiva (cationes), otros con carga negativa (aniones); todos dentro del receptor. Cuando una fuente de energía que se transmite (por la naturaleza) de manera ondulante o analógica y toma contacto con el receptor, lo primero que genera es un cambio en su estado químico. Esto promueve un fenómeno denominado potencial de receptor, que no es otra cosa que una modificación de su potencial de reposo. Este simple acontecimiento es la transducción propiamente dicha.

Para que este potencial de receptor pueda generar un cambio en la naturaleza del mensaje transmitido por la neurona sensitiva, tiene que superar un determinado umbral. Cuando lo hace y genera una modificación en el patrón de descarga por unidad de tiempo, es cuando sucede, además del fenómeno de transducción, la conversión analógica a digital. Esto se puede traducir en la producción de un mensaje sensorial que transitará hasta los sistemas de relevo en nuestro SNC (Sistema Nervioso Central). Es interesante observar que existe una gran cantidad de información que llega a nuestros receptores y que produce modificaciones del potencial de reposo, pero no alcanza a tener la intensidad suficiente como para modificar el potencial de reposo de la neurona sensitiva y no genera conversión analógica digital. Por consiguiente, no podemos tener acceso cognitivo a ese tipo de información (rayos ultravioletas, rayos infrarrojos, infrasonidos, ondas magnéticas). Otras especies, ante esta información es la misma que otras especies sí pueden captar y se produce un reconocimiento, conocimiento o conducta ante los mismos estímulos.

Existe un caso que vale la pena citar y explicar: nuestros propioceptores permanentemente emiten información al SNC. Cuando existe un cambio en los potenciales de acción específicos de los propioceptores, cambia la naturaleza del mensaje y aumenta o disminuye la frecuencia por unidad de tiempo. El contraste entre el estado de reposo (donde el propioceptor emite información) y el movimiento (en donde la modificación del propioceptor cambia el mensaje neural) permite dar cuenta del movimiento. El hecho de que los propioceptores generen información que se emite permanentemente al SNC permite justificar un sentido que se llama **estatoestesia** o sentido de la posición. Esto justifica lo que se denomina sentido cinestésico o **cinestesia**. Tanto la estatoestesia como la cinestesia dependen originariamente de la información captada por los propioceptores; por lo tanto, tanto en reposo como en movimiento tenemos permanente descarga de información hacia el SNC. Por decirlo de alguna manera, nuestros propioceptores no descansan nunca y esto es una ventaja biológica evolutiva para la supervivencia. En el caso de nuestro sistema auditivo, si no hay estímulo, no se genera potencial de acción hacia el SNC.

Lo mismo sucede con el caso de la visión: si no hay estimulación de los fotoceptores (por los fotones) que cambie el estado de los conos y bastones, no tenemos información visual. Pero en el caso de la propiocepción, tanto en reposo como en movimiento, tenemos constantemente descarga de información hacia el SNC, lo que permite distinguir entre el reposo, el movimiento y las posiciones; como así también presiones, compresiones y tensiones que son contrastes entre los potenciales de acción que emanan de los propioceptores y transitan por las vías sensitivas.

- **Posdescarga:** otro fenómeno interesante en fisiología sensorial es lo que conocemos como posdescarga. Luego de que un receptor haya sido modificado en su potencial de reposo, puede recuperar más o menos rápido ese mismo estado. Cuando tarda en volver a su potencial de reposo, a pesar de la no presencia del estímulo que generó el potencial del receptor, es cuando tenemos la sensación de la presencia del estímulo aunque ya no tenga este contacto con el receptor. Por ejemplo: cuando uno usa un sombrero por una gran cantidad de horas, se saca el sombrero y tiene la sensación de que aún lo lleva puesto. Esto se debe a que los receptores siguen descargando información relativa a la deformación plástica de los receptores mecánicos de la piel.
- **Adaptación:** se trata de otra propiedad significativa, con importantes consecuencias para el entrenamiento. Se da cuando el mensaje neural, generado por la presencia de un estímulo, no prosigue aún ante la persistencia de ese mismo estímulo que continúa modificando el estado del receptor. Esta adaptación de los

receptores a la presencia de un estímulo es uno de los grandes riesgos que tenemos que evitar en el aprendizaje motor y el entrenamiento de la técnica. La adaptación de los receptores (principalmente los propioceptores) es un tremendo peligro para el progreso en la *performance* motriz y la disponibilidad variable de los gestos. Por falta de variabilidad de estímulos, los receptores ya no proveen información diferencial al SNC y esto puede promover lo que conocemos como **estereotipia**. Este fenómeno, que induce efectos no deseados (como la imposibilidad de romper la barrera de velocidad, dificultad para cambiar los ritmos, bloqueos en el aprendizaje motor, estancamientos en el entrenamiento de la técnica, dificultades para la captación de nuevos tipos de información) complica la *performance* deportiva. En definitiva, promueve grandes problemas para la evolución de aprendizajes motores. Estimular a los receptores en general (y a los propioceptores en particular) de manera múltiple o variada para evitar su adaptación, es una de las tareas más importantes de la intervención didáctica en toda práctica corporal. En otros casos, como por ejemplo en la rehabilitación neurológica, la adaptación de estos receptores puede ser una ventaja.

- **Parámetro del mensaje neural:** otro elemento interesante para estudiar en fisiología sensorial es lo que llamamos parámetro del mensaje neural. La información a través de nuestras vías aferentes y eferentes circula como potenciales de acción. Se trata de un inmenso cableado; y merced a su conectividad a nivel sináptico transitan datos de manera digital. Los mensajes neurales tienen distintos componentes: código de frecuencia, código temporal, código espacial y código de fase. Tal como un código Morse que, con su variabilidad de tiempo, silencio e interrupciones, hace que la información sea diferente entre sí. Esto permite que podamos percibir el mundo interno y externo. De este modo, circulan por nuestro sistema nervioso potenciales de acción, no significados o imágenes. Uno de los grandes misterios de la neurobiología y de la filosofía de la mente consiste en entender cómo se extraen los significados de la circulación de esos potenciales de acción y cómo esto influye en la elaboración de nuestras conductas o generan reacciones o respuestas emocionales ante esos significados. Decir que nuestro sistema nervioso es un enorme cableado por el que circulan ráfagas de potenciales de acción o mensajes digitales, no es un simple reduccionismo. Nuestra intención no es decir que el hombre sea solamente eso, pero admitimos esta realidad.

**Figura 2: Elementos básicos de fisiología sensorial**



Fuente: elaboración propia.

### **Conclusiones y perspectivas**

Para concluir, nos atrevemos a afirmar que entender los fenómenos propios de los sistemas sensoriales y estudiarlos en profundidad tiene implicancias muy importantes para la administración de las decisiones relativas al movimiento humano. Una cantidad de consecuencias interesantes pueden desprenderse de estas indagaciones:

- Del grado o nivel de entrenamiento preliminar que tengamos de estos canales de acceso de información dependerá la construcción de los futuros aprendizajes.
- El fenómeno de la sensación es tan entrenable como el fenómeno de la percepción.
- Por consiguiente, todo lo que podamos prodigar, respecto al entrenamiento y la activación de los canales senso-perceptuales mediante la estimulación de las vías aferentes de información al SNC, mejora la calidad de los aprendizajes motores ulteriores, sobre todo en las etapas iniciales de la formación psicomotriz de la persona (no solo deportiva).
- Este entrenamiento discriminativo senso-perceptual favorece luego todos los procesos que tienen que ver con la consolidación de partes buenas del movimiento y la eliminación progresiva de los fallos a partir de una atinente interpretación de las correcciones.
- Hay una gran cantidad de consecuencias didácticas que se desprenden de este conocimiento que tiene que ver con la necesidad de plantearnos estrategias especiales para el entrenamiento de la función sensorial y la función perceptual.

### 1.1.3 Itinerario del procesamiento de la información en los sistemas sensoriales

Cuando un estímulo toma contacto con un receptor modifica su estado o potencial de reposo y cambia el estado o potenciales de acción, estimulando las neuronas sensitivas. Luego, estas modificaciones pasan por un centro de conmutación y siguen su trayecto hasta las cortezas primarias, donde la información es distribuida en distintas neuronas especializadas en reaccionar frente a rasgos muy particulares del objeto. Este es el itinerario del estímulo.

Recordemos también que en todo acto sensoperceptual hay funciones motores implicadas debido a que existe una acción motriz específica orientada a mejorar la calidad de recolección de la información. Los sistemas sensoriales tienen (como componentes fundamentales) neuronas motoras que modulan la actividad de los receptores, lo que permite amplificar el ingreso de información, o bien restringirla con el objetivo de evitar el daño de estas células especializadas en la recepción. En relación con lo anterior, queremos reforzar esta idea: todo **sistema sensorial tiene funciones motoras inherentes**, es decir que hay motricidad específica implicada en la modulación de los sistemas sensoriales para mejorar la calidad de captación de la información, tanto del medio interno como del medio externo. Por ejemplo: para captar información sobre el estado de longitud muscular a cargo de receptores que se llaman fibras intrafusales; también tenemos sistemas motores (sistema motor gamma) que permiten ajustar o calibrar el estado de ese receptor para recoger pertinentemente información sobre la longitud muscular. La función visual también tiene implicada tareas motoras que modulan la actividad del iris, al abrir o cerrar el párpado, lo cual permite el ingreso de mayor o menor cantidad de luz. A su vez, en la misma función visual, tenemos neuronas motoras que modulan la actividad de los músculos extrínsecos de los ojos para captar permanentemente, con distintos conos o bastones, el mismo objeto y, así, permitir que los que inicialmente lo hicieron re sinteticen sus neurotransmisores y se puedan emplear para procesar nueva información. Se trata de micromovimientos generados para mejorar la calidad de recolección de información. La recepción de información no es un fenómeno pasivo, sino un hecho motrizmente activo.

Estos procesamientos de la información o estas conmutaciones premedulares y luego posmedulares tienen un relevo obligado en diversos núcleos del tálamo, en donde la información es nuevamente conmutada, integrada y también, muchas veces, alterada antes de llegar a la corteza cerebral.

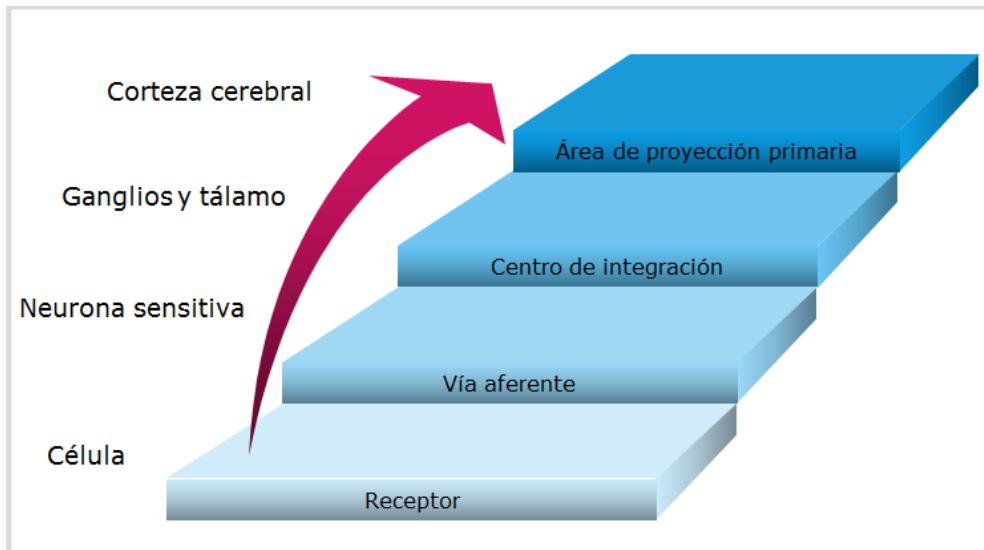
La información tiene un procesamiento cruzado, es decir, cuando empleamos el conjunto de sistemas sensoriales de un hemicuerpo, casi la totalidad de dichos datos es procesada por el hemisferio sensorial del lado contrario. Por ejemplo, nuestros sistemas sensoriales

derechos proveen de información al hemisferio cerebral izquierdo y, de la misma manera, todos los sistemas sensoriales del lado izquierdo proveen información al hemisferio cerebral derecho. Con respecto a lo anterior, en los últimos años se ha clasificado a los sujetos como homogéneos y heterogéneos: los primeros son aquellos que captan información predominantemente de un solo hemicuerpo y heterogéneos son aquellos que lo hacen desde ambos hemicuerpos de manera equilibrada. Esta clasificación no es sólo para la captación de la información, sino también para las acciones motrices. Homogéneos, en este caso, son aquellos que utilizan con predominancia un solo hemicuerpo en acciones de coordinación fina y gruesa, en tanto que los heterogéneos emplean ambos hemicuerpos de manera proporcionada para estas acciones.

Existen evaluaciones para detectar esta dominancia, se trate de sujetos deportistas o no. La utilidad de estas pruebas es variada. A partir de ellas se pueden cristalizar consecuencias didácticas para potenciar el lado que menos utilizamos u optimizar las habilidades del lado dominante. En nuestra práctica, cuando utilizamos este tipo de evaluaciones tratamos fundamentalmente de equilibrar la calidad de recolección de información por parte de los sistemas sensoriales distribuidos en cualquiera de los dos hemicuerpos. Esto sucede sobre todo si el sujeto tiende a infrautilizar uno de ellos, porque entendemos que mientras mayor cantidad de información recolectamos de los sistemas sensoriales que menos empleamos, tendremos una mayor capacidad de tomar buenas decisiones y mejorar la programación motora. A partir de estos fundamentos, la pregunta que subyace cae de madura, a saber: ¿es más ventajoso ser heterogéneo que homogéneo? Se trata de una pregunta que no podremos responder y es algo que futuras investigaciones científicas se encargarán de develar. Sí podríamos, en cambio, hacer alusión a casos de genialidades deportivas con ambas características.

La información es cruzada antes de su procesamiento en el tálamo. Para ejemplificar la función del tálamo, podemos imaginar un aeropuerto internacional al que arriban vuelos de todo el mundo y desde el cual salen vuelos de cabotaje al interior del país. De la misma manera toda la información sensorial (excepto la olfativa) llega al tálamo antes de seguir su camino hasta la corteza primaria para un análisis pormenorizado de ésta.

**Figura 3: Itinerario de la información**



Fuente: elaboración propia.

Precisamente, es a través de la cantidad y calidad de información que pueden recoger nuestros receptores, que depende de la calidad de todo el procesamiento de información. La calidad de todo el procesamiento de la información, dependerá de la cantidad y calidad de información que puedan recoger nuestros receptores.

Nunca la percepción va a ser mejor, en calidad, a lo que los sistemas sensoriales puedan llegar a proveer; por lo tanto, nunca la representación va a ser mejor que la percepción y la lógica motriz, del mismo modo que la toma de decisiones y programación motora no serán mejores que los pasos anteriores. Es por esto que, en el proceso de adquisición de perfeccionamiento, estabilización y disponibilidad variable de praxis voluntarias, tenemos una dependencia muy grande de la información que puedan llegar a incorporar o proveer nuestros sistemas sensoriales. Una de las grandes funciones de nuestro sistema nervioso es la de recoger información del medio tanto externo como interno, porque de la calidad de esta información y de su interpretación depende la generación de conductas que permiten adaptarnos al entorno.

Esto, nos brinda la posibilidad de evolucionar como especie y sobrevivir en el tiempo.

Los sistemas sensoriales son altamente entrenables, y su importancia radica en que el proceso psicomotor subsiguiente depende de esta etapa de adquisición de la información. Dichos sistemas son los canales de acceso de los datos cruciales. De la capacidad que los mismos tengan para recoger y transmitir la información va a depender el resto del proceso psicomotor.

También es importante tener presente cuáles son estos sistemas sensoriales y cuál es su importancia en los distintos deportes, saber cómo evaluarlos, conocer la didáctica básica

para su entrenamiento, estimularlos en los niños desde edades tempranas y contrarrestar su involución en edades mayores.

Las consecuencias de su entrenamiento radican en la importancia de la prevención de lesiones a partir de su impacto estabilizador del sistema articular, la modulación final de las referencias sensorio-motoras que dan precisión al gesto, la dosificación de los niveles de aplicación de fuerza en todas sus expresiones y magnitudes y la autodetección de anomalías funcionales con la consecuente regulación del esfuerzo.

### **1.1.4 Importancia de los procesos aferentes para la correcta programación neuromotora, ejecución y control del movimiento**

La información que fue recogida por los receptores y modificó el estado de la neurona sensitiva sigue su periplo hacia los centros de control. Allí se conmuta y accede finalmente a la corteza cerebral (que llamamos áreas de proyección primaria o áreas estriadas), que se especializan en recibir esa información luego de que fue procesada por los distintos núcleos geniculados laterales del tálamo y otras instancias anteriores. Entre las áreas de proyección primaria que necesitamos para la programación neuromotora, podemos citar: en el lóbulo occipital, el **área 17 de Brodmann**; en el lóbulo temporal, el **área 41**; en el lóbulo parietal (circunvolución parietal ascendente), las **áreas 3, 1 y 2** para el procesamiento de la información mecánica, térmica y también dolorosa, el **área 5** para la información propioceptiva y el **área 7** para la información vestibular.

¿Qué rasgo particular presentan estas áreas de proyección primaria? Hay varios puntos interesantes para considerar:

- Primero, que el tamaño asignado a cada parte del cuerpo en cada área de proyección primaria depende de la densidad de receptores que ese sector del cuerpo tenga. Por eso es que se ha construido la idea de un pequeño hombre u homúnculo sensorial, para dar cuenta de que la densidad y tamaño en esa área de proyección primaria tiene una correspondencia con la cantidad de receptores que esa parte del cuerpo posee.
- Lo segundo es que estas áreas cartografían la distribución de los receptores en el resto de nuestro cuerpo. Es decir: para poder tomar conciencia del mundo interno y externo y para poder construir objeto de percepción, nuestro cerebro tiene que mapear y cartografiar la distribución de los sistemas de recolección de información que están en la periferia de nuestro cuerpo. Nuestro cerebro, de alguna manera, también es un pequeño mapa que da cuenta de la distribución de los receptores en la periferia y esta recirculación de la información captada de la periferia por estas estructuras del SNC es lo que nos permite tomar conciencia no solo del mundo exterior, sino también generar el fenómeno de la autoconciencia. En suma,

nos permitirá detectar no solo lo que percibimos, sino tanto el mundo externo como el mundo interior.

La corteza cerebral tiene **6 capas neuronales** (ganglionar, granular externa, piramidal externa, granular interna, piramidal interna y multiforme). A su vez, en las áreas de proyección primaria sensorial (nombradas anteriormente), las dos capas pares iniciales (la 2 y la 4, que se llaman granulares) tienen un espesor mayor que las demás, porque son los sectores que reciben la información.

Un detalle a tener en cuenta es que cuando la información llega al área de proyección primaria, no lo hace de forma azarosa, sino que sigue un itinerario de conducción en las capas granulares que es muy específico.

Otro detalle interesante de las áreas de proyección primaria: hay una topografía que da cuenta de la distribución de los receptores en la periferia. Por ejemplo: a cada sector de la retina le corresponde un determinado sector en el área de proyección primaria visual o área 17 de Brodmann, un determinado conjunto de neuronas (a los bastones de la retina les corresponde un sector del APP (Área de Proyección Primaria) más externo y a los conos les corresponde un sector más profundo o central). En estas áreas de proyección primaria, el acceso de información es ordenado. Hay un orden estructural y funcional para una mejor calidad de captación de la información. Los estímulos que reciben las neuronas, se combinan en capas granulares que siguen un orden específico.

# Unidad 1.2 Modalidades sensoriales

## Modalidad sensorial

La modalidad sensorial es específica de los sistemas sensoriales para recibir información de cierto tipo y no de otro, aunque no es exclusivo.

Por ejemplo: el sistema visual está especializado para la captación lumínica. Los conos y bastones se activan a través de un proceso químico en la retina gatillado por el acceso de información luminosa. Sin embargo, si nosotros cerramos los ojos y estimulamos auditivamente los parpados, también podemos activar los conos y bastones y generar información visual, es decir que los mismos receptores especializados en captar información de una determinada modalidad pueden también eventualmente captar información de otra. No obstante, la modalidad sensorial alude a ese tipo de información para la cual estos sistemas se han especializado.

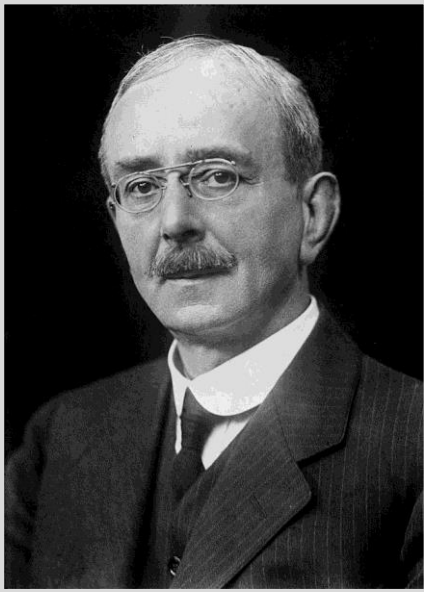
### 1.2.1 Propiocepción

El término de **propiocepción** fue acuñado a finales del siglo XIX y principios del siglo XX por Charles Scott Sherrington (premio Nobel de Medicina en 1932). "*Propio*" proviene de "uno mismo", "*cepcion*" proviene de "recepción", por lo tanto, propiocepción quiere decir "recibir información de uno mismo".

La propiocepción constituye un sistema sensorial que provee información que contribuye a la percepción total que tenemos de nuestro cuerpo en reposo o en movimiento. Este componente de la percepción nace de la excitación de receptores localizados en la piel, cápsulas articulares, músculos, tendones, receptores laberínticos.

Pero su aspecto clave es cómo los centros nerviosos superiores analizan esta información. La misión del sistema propioceptivo es constatar la situación de los sistemas periféricos responsables del movimiento y del no-movimiento o posición. Los propioceptores estiman, censan, sopesan el estado de los efectores responsables de la posición y el movimiento. El sistema muscular es esclavo del aparato motor pasivo, pero este último no lo es solo de las fuerzas mecánicas que actúan sobre nuestro organismo, sino también de otros sistemas funcionales, sobre todo del neuroendócrino (ej. neuropéptidos y su influencia clave en el tejido conectivo).

**Figura 4: Charles Scott Sherrington**



Fuente: Wikipedia, s.f., recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Scott\\_Sherrington](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Scott_Sherrington)

Partiremos del tópico de que la propiocepción es muy importante para la integración de postura y movimiento. Walter Hess tuvo una brillante idea para explicar esto: el ejemplo de los acróbatas.

3 acróbatas en interacción, dos de ellos se encuentra abajo y sostienen al tercero, que se ubica encima de ambos. Iniciaremos dicho análisis imaginado que la tarea a realizar por el sujeto que se encuentra arriba es saltar. ¿Qué sucede si en el momento en el que pretende iniciar su salto, los otros dos (quienes sostienen) se distraen o están desconcentrados? Podríamos conjeturar que al momento de saltar, el tercer sujeto (acróbata que salta) empujaría hacia atrás a sus compañeros y la secuencia no sería llevada a cabo correctamente. Ahora bien, si en primera instancia, los dos acróbatas que se encuentran en función de sostener afianzan su interrelación y recién a partir de ese momento, estando de manera anticipada firmes y enlazados correctamente, el acróbata que se encuentra por encima de estos salta, generando así un salto de mayor calidad y más soporte, de esta manera obteniendo un menor riesgo de provocar posibles lesiones a las personas que se encuentran debajo, en fase de sostén. Si estos dos, se encuentran “lánguidos” en el momento previo al salto, podrían hasta fracturarse.

Quien comanda este proceso hasta llegar a la acción final, es el cerebro. Cuando este detecta que los sujetos que sostienen se encuentran dispersos, el reclutamiento de fibras musculares quedará inhibido. Ante la insistencia de producción de grandes niveles de fuerza y en contexto de los acróbatas de sostén en situación de dispersión, el resultado desencadenara posibles lesiones en ellos.

Walter Hess usaba este relato para explicar la relación entre postura y movimiento: imagine una línea entre los hombros de los acróbatas de abajo y de arriba. Debajo de la línea “postura”, arriba de la línea “movimiento”; debajo de la línea “actividad tónica”, arriba “dinámica”; abajo “estabilidad”, arriba “propulsión”. En conclusión, la anticipación de estabilizadores y postural provee calidad al gesto motor. Para la conformación de una programación que brinde calidad al ser humano, tanto, la actividad gamma como el bucle gamma alfa deben anticipar a la actividad alfa. Es decir, que nunca la calidad propulsora del sistema de movimiento puede superar en calidad a las diferentes acciones unidas a la estabilidad y la postura, asimismo para la generación o producción de grandes niveles de fuerza. (Hess, en Di Santo 2012)

La relación de esto y la propiocepción es que precisamente las acciones del sistema estabilizador dependen de la calidad de información que los sistemas propioceptivos puedan llegar a generar e informar al sistema nervioso central. Por eso es que mejorar la propiocepción optimiza la calidad del movimiento, mejora la transferencia y generación de fuerza reduciendo la magnitud de los fenómenos inhibitorios. Este aspecto es muy importante para prevenir lesiones.

Dentro de los propioceptores reconocemos varios tipos, con funciones diferenciales y con neuronas aferentes que comunican al SNC y transmiten datos con códigos diferentes para ser interpretados y para, a partir de allí, poder generar regulaciones más pertinentes del acto motor.

**Figura 5: Receptores propioceptivos**



Fuente: elaboración propia.

Los receptores propioceptivos proveen la información para la definición de estos conceptos:

- **Estatoestesia:** se trata del sentido de la posición o del no-movimiento.
- **Kinestesia:** hace referencia al sentido del cambio de posición o del movimiento.
- **Cenestesia:** se trata de la percepción del estado de disponibilidad general de órganos, aparatos y sistemas para desempeñar las funciones que les son inherentes. Supone el registro del estado global del organismo para desempeñar sus funciones propias y, desde el punto de vista neuromuscular, quizás se pueda describir como deseo y disposición al movimiento.

Entre los distintos propioceptores, podemos encontrar: los **musculares** (usos y fibras intrafusales) receptores **tendinosos**, receptores **articulares** (los de Ruffini) **ligamentarios** (descritos por Camilo Golgi), receptores **de la inserción de ligamento cápsula** (Vater-Pacini) **cutáneos** (Meiser, Golgi y Paccini) y receptores **en fascias:**

Los receptores en fascias, particularmente, influyen en la regulación de acto-motor, como así también en su regulación los receptores **vestibulares** por medio de las denominadas **máculas** (tanto saculares como utriculares, que permiten detectar aceleraciones hacia adelante, arriba y abajo, así como giros y frenados en el eje transversal) y las denominadas **ámpulas** (en los conductos semicirculares, que nos permiten detectar inicios y/o aceleraciones de giros alrededor de ejes longitudinales y mediales).

La disposición de estos propioceptores quedará clara en la medida en que los procesemos analíticamente. Básicamente, las fibras intramusculares, los usos neuromusculares y las fibras intrafusales se encuentran en el tercio medio del vientre muscular, mientras que los órganos de Golgi se encuentran en la transición muscular y tendinosa, porque tienen la función de censar el grado de tensión en el tejido conectivo.

Los propioceptores permiten entonces entender la diferencia entre lo que es kinestesia, estatoestesia y cenestesia. Estos receptores tienen la particularidad de transmitir constantemente información al sistema nervioso central. En reposo, todos los propioceptores (receptores intrafusales, tendinosos, ligamentarios, etcétera) no así, en cambio, los receptores cutáneos, emiten descarga de potenciales de acción a una determinada frecuencia. En el momento en que se produce un cambio de posición a partir de una tracción, una compresión o una torsión, por las que se estimulan los receptores musculares, tendinosos o articulares; se produce una modificación de descarga por unidad de tiempo y eso nos permite caer en la cuenta de que nos hemos movido, es decir, del cambio de posición.

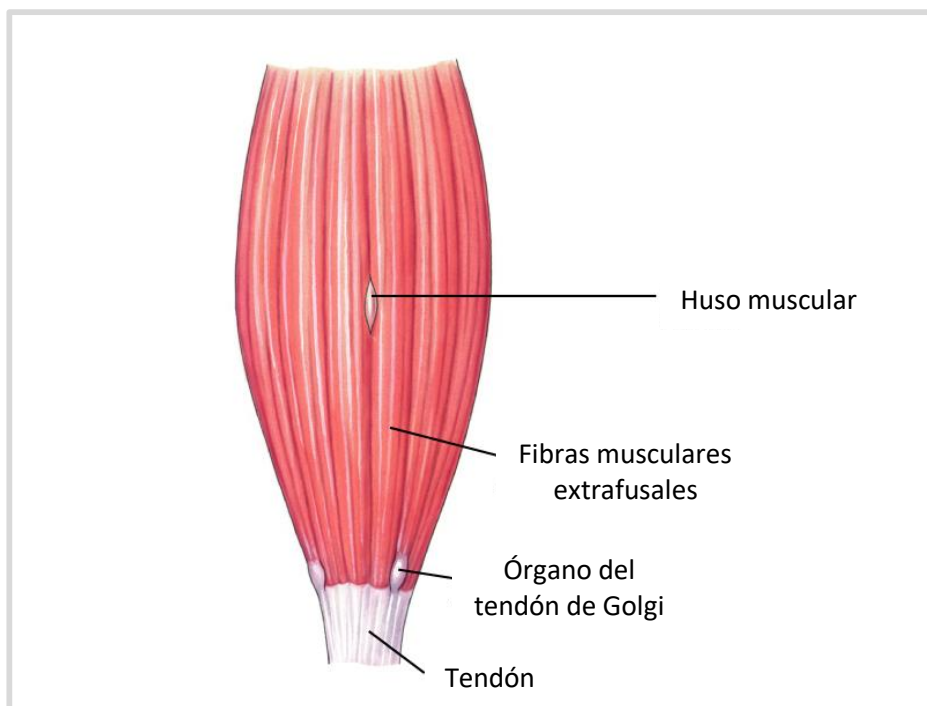
A partir de la propiocepción, podemos reconocer la posición describiendo un sentido que se llama **estatoestesia**. Cuando cambiamos de posición y los mismos receptores modifican el patrón de descarga por unidad de tiempo, advertimos ese cambio de posición y caemos en la cuenta de que nos hemos movido. Ese sentido se denomina en cambio: **kinestesia**. Estato y Kine no son lo mismo; sin embargo, la información a partir de

cual podemos caer en la cuenta de la posición y del movimiento es provista por los mismos sensores.

Por otro lado, **cenestecia** es el sentido que nos permite detectar la disposición general de órganos, aparatos y sistemas para desarrollar las funciones que les son inherentes. Muy probablemente usted se haya levantado a la mañana y haya tenido mucho deseo de moverse, siente que está apto para el movimiento, con ganas de entrenar o moverse; sin embargo, otros días se siente pesado o sin ganas de moverse ¿Cómo es posible sentir estas disposiciones? El sentido cenestésico es precisamente aquel que nos aporta información respecto al estado en el que se encuentran los protagonistas de las futuras acciones para poder ejecutarlas pertinentemente, o no. También la cenestecia depende de la propiocepción, de la interocepción en general, mientras que la estado y la kine dependen en particular de la propiocepción.

Existe una gran cantidad de propioceptores; sin embargo, vamos a describir dos de ellos (los más conocidos) y explicaremos cómo operan en la regulación del movimiento humano. Estos son: los **husos neuromusculares** (y las fibras intrafusales que ellos alojan) y los **órganos tendinosos de Golgi**. Los dos guardan un denominador común: la fibra intrafusala censa longitud muscular y los órganos de Golgi tasan grado de tensión de tejido conectivo. Ninguno de los dos son sensores de fuerza, esto es muy importante detallarlo ya que muchas veces se cree que los órganos tendinosos de Golgi tasan fuerza y lo que realmente tasan es grado de tensión del tejido conectivo. A partir de esto se van a desencadenar acciones reflejas conducentes a la protección de este aparato motor pasivo.

**Figura 6: Husos neuromusculares y órganos de Golgi**



Fuente: recuperado de <https://jesusjuradocortada.com/2016/03/02/tecnicas-de-correccion-postural-tercera-parte/>

Los husos neuromusculares y órganos tendinosos de Golgi son, al menos, de los que mayor flujo bibliográfico descriptivo y explicativo disponemos. Los dos guardan un rasgo en común: registran los niveles de tensión del tejido conectivo. Ninguno de los dos son sensores de fuerza, aunque contribuyen enfáticamente a su modulación y ambos juegan un rol clave en el control motor y la prevención de lesiones.

En primer lugar, vamos a concentrarnos en las fibras intrafusales que se encuentran en el interior de sacos que se denominan **husos neuromusculares**. En el tercio medio o vientre muscular del músculo estriado esquelético, se encuentran precisamente los husos neuromusculares. Son vainas de tejido conectivo que se encuentran adheridas al resto de los endomisios y acaban conectándose con los dos extremos del músculo estriado esquelético. Estas vainas o sacos alojan en su interior un número limitado (entre 2 y 4 y hasta 10 y 12) de fibras musculares especializadas que, morfológica, funcional y estructuralmente, son distintas al resto de las fibras. Precisamente por el hecho de que se encuentran en el interior de estos sacos que se denominan husos neuromusculares es que a estas fibras se las llama **fibras intrafusales**, para ser distinguidas de las fibras que están afuera o del lado externo de los sacos, llamadas **fibras extrafusales**.

En el interior del huso neuromuscular, las fibras intrafusales no son todas iguales. Tenemos un porcentaje de las fibras intrafusales que se llaman **fibras de bolsa nuclear dinámica**, otras de **bolsa nuclear estática** y otras que se denominan de **cadena nuclear**. En términos generales, así como en el músculo estriado esquelético encontramos fibras lentas y rápidas, en el uso neuromuscular también encontramos fibras intrafusales lentas y rápidas. ¿Cuál es el rasgo diferencial de estas fibras intrafusales respecto a las extrafusales? Las fibras intrafusales tienen extremos contráctiles como las fibras extrafusales; sin embargo, el tercio medio de la fibra intrafusil no tiene filamentos contráctiles, solamente una prolongación del sarcoplasma que en su interior aloja una gran cantidad de núcleos. Este tercio medio de la fibra intrafusil está en contacto (por continuidad, es decir, por enlace anatómico) con una neurona sensitiva: en el caso de las intrafusales rápidas, están conectadas con una **neurona sensitiva tipo IA**, mientras que las intrafusales lentas, por su parte, están conectadas a una **neurona sensitiva de tipo IIA** con una velocidad de conducción más lenta.

Esta porción central de la fibra intrafusil que no tiene filamentos contráctiles está especializada para responder a la deformación longitudinal. Cuando esta porción central se estira, modifica el estado de reposo de la neurona sensitiva y da cuenta al sistema nervioso central de este cambio.

Como antes mencionamos, existen tres tipos de fibras intrafusales. Las que llamamos de bolsa nuclear dinámica (son más pequeñas, son un número limitado de 2 o 3 por uso) están especializadas, fundamentalmente, en registrar cambios de longitud en cuanto a

velocidad se refiere. Estas emiten un dato muy particular al SNC y generan un **reflejo de tracción dinámica o reflejo miotático de tracción** que permite la contracción de las fibras extrafusales. A partir de esta contracción, el estiramiento tendrá un límite que protege de la lesión al tejido conectivo.

Si nosotros entramos al campo de juego con los sistemas propioceptivos descalibrados de tal manera que la calidad de información que recogen no es buena, aumentamos el riesgo lesional porque no disponemos de los mecanismos adecuados para la protección del tejido conectivo. Por lo mismo, no podremos reclutar unidades motoras de una manera efectiva y tendremos menos límite al acto de estiramiento. Corremos el riesgo de que éste, si se produce de una manera brusca y repentina, arrastre al tejido conectivo y genere una lesión en él.

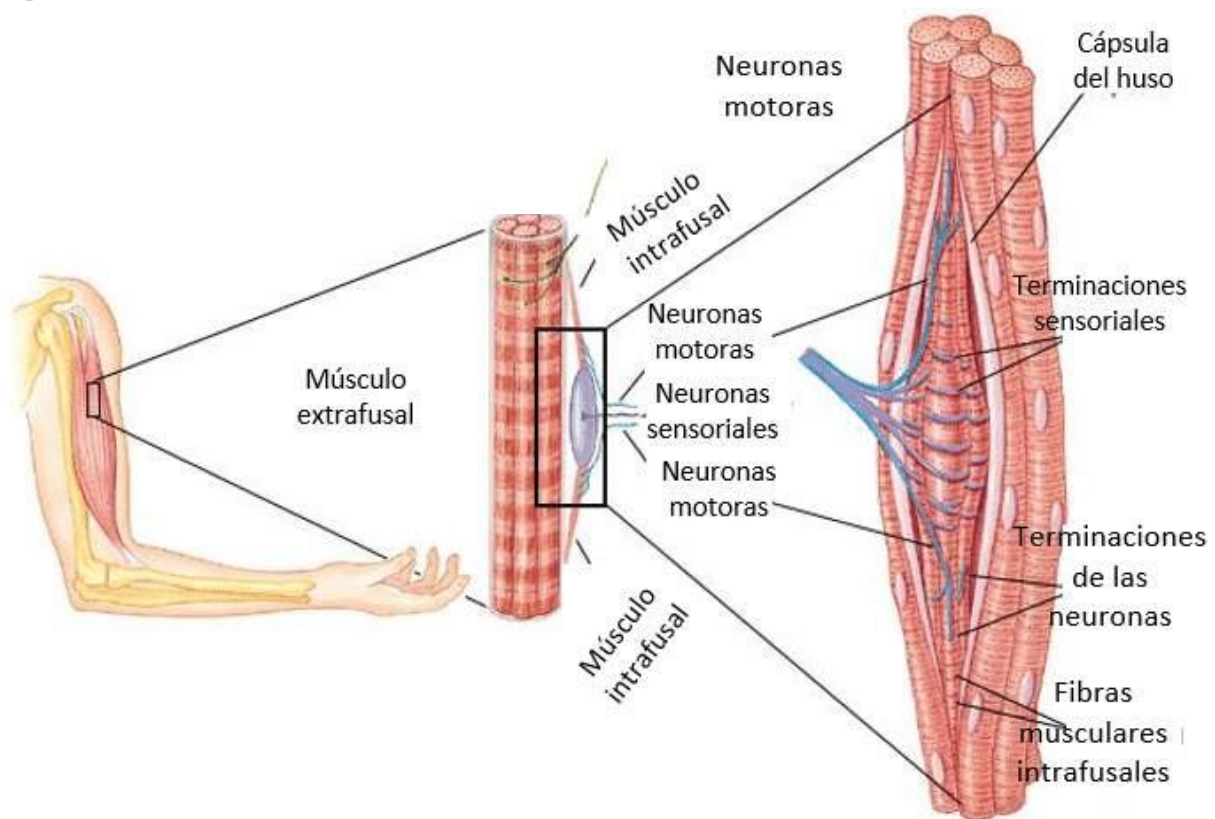
Existen también las fibras intrafusales, llamadas lentas materializadas o fibras de bolsa nuclear estáticas (más grandes y abultadas que las de bolsa nuclear dinámicas), y las llamadas **fibras intrafusales** de cadena nuclear, en donde los núcleos están en el medio (en el sector no contráctil) y no abultados (sino encolumnados en filas). La gran diferencia entre la bolsa nuclear estática y las de cadena nuclear es que en las primeras el receptor de tipo IIA envuelve espiraladamente a este tercio central de la fibra intrafusar (lo mismo que la fibra intrafusar de bolsa nuclear dinámica, en donde la neurona sensitiva tipo IA también envuelve espiraladamente a la fibra intrafusar). A estos receptores se los llama **receptores anulo-espirales**. Las fibras intrafusales de cadena nuclear, en lugar de tener la neurona sensitiva de tipo IIA envolviéndola en su sector central, directamente son sus terminales no mielinizadas quienes se depositan en ese sector. Cuando la neurona sensitiva egresa del uso neuromuscular, recupera su contenido de mielina (es desmielinizada en el interior de la fibra intrafusar).

¿Qué hacen las fibras intrafusales de bolsa nuclear estática y de cadena nuclear? Ya no refieren la situación de velocidad de cambio de longitud, sino que le avisan al SNC acerca de la magnitud y duración del cambio de longitud. A partir de esto se genera luego, a nivel de la médula espinal, otro reflejo que se denomina **reflejo miotático de tracción estático**. Éste, reclutando fibras lentas, permite aumentar el tono muscular a los efectos de proteger al tejido conectivo de lesiones por estiramientos, ya no bruscos, explosivos y repentinos, sino de aquellos que por su magnitud y duración puedan dañar al tejido.

Las fibras intrafusales, tanto de bolsa nuclear estática como dinámica y cadena nuclear, generan reflejo miotático de tracción, pero dos versiones diferentes de este. Una dinámica que recluta fibras rápidas y una estática que recluta fibras lentas. El primero tiene una adaptación mucho más rápida y dura mucho menos, por cuanto protege inmediatamente de estiramientos bruscos al tejido conectivo. El otro tiene una adaptación mucho más lenta, es decir, dura mucho más y protege de lesiones al tejido conectivo lo que dure el estiramiento y lo que dure el proceso adaptativo.

Recordemos que tenemos dos tipos de fibras intrafusales diferentes: una innervada por una neurona sensitiva de tipo IA y otra por una neurona sensitiva de tipo IIA. Existen, por lo tanto, dos tipos de información: una que emite velocidad de estiramiento y otra que informa sobre la magnitud del estiramiento. La pregunta ahora es: si tenemos dos tipos de información que se emiten al sistema nervioso central, ¿por qué existen tres diferenciaciones morfo-funcionales de fibra intrafusal? ¿Para qué existen tres tipos de fibras intrafusales diferentes si son dos tipos de datos que se transmiten al SNC para la regulación del acto motor? Son interrogantes que la ciencia todavía no puede respondernos. La distribución de las fibras intrafusales en los distintos grupos musculares varía y eso influye en cuanto al ajuste motor de movimientos que requieren una coordinación más fina o más precisión y aquellos que son mucho más gruesos.

**Figura 7: Huso neuromuscular II**



Fuente:

[http://www.weizmann.ac.il/neurobiology/labs/ulanovsky/sites/neurobiology.labs.ulanovsky/files/uploads/intro\\_systemsneurosci\\_lecture7\\_ahissar\\_touch\\_26dec2012.pdf](http://www.weizmann.ac.il/neurobiology/labs/ulanovsky/sites/neurobiology.labs.ulanovsky/files/uploads/intro_systemsneurosci_lecture7_ahissar_touch_26dec2012.pdf)

El vínculo entre la neurona sensitiva y el sarcolema de la fibra intrafusal es anatómico directo y sin hendidura sináptica. Por ende, la relación es por continuidad y no por contigüidad. Este vínculo se da entre los canales iónicos sensibles al estiramiento, que regulan el ingreso de calcio y que se comunican con el citoesqueleto. Este proceso es de transducción mecánica, que cambia el patrón digital. Podemos observar cómo la neurona sensitiva, sin espacio entre ella y el sarcolema de la fibra intrafusal, tiene una conexión

estructural anatómica a través de lo que llamamos canales iónicos que permiten un contacto directo. Esto nos permite entender que cuando se deforma la porción central de la fibra intrafusar cambia más fácilmente la estructura de la neurona sensitiva. A raíz de esto se modifica la generación de impulso al SNC.

Por lo tanto, existe mucho que referir respecto a cómo este **sistema propioceptivo muscular** (que es el más conocido o más abundante y el más significativo del análisis propioceptivo) influye para regular el acto motor como tal.

Particularmente el sistema de los husos neuromusculares está sometido a influencias generadas por otros sistemas funcionales. Citemos algunos ejemplos: la fibra intrafusar tiene receptores estimulados por la actividad hormonal, por lo que la concentración de testosterona, la hormona de crecimiento y los estrógenos calibran a los propioceptores. Esto afecta a su funcionamiento durante las acciones motrices de la vida cotidiana o deportiva. También podría explicar cómo, si se aumenta la tensión de las fibras intrafusales por influencia de estas hormonas, podríamos entender la menor facilidad de los estiramientos por parte de los hombres respecto de las mujeres. Otra de las influencias que tienen las fibras intrafusales se relaciona con el estado más o menos gelatinoso de las estructuras intra-sarcoplasmáticas que las configuran, lo que se denomina propiedades tixotropicas.

Existen entonces diversas influencias sobre el huso neuromuscular: el estado de la fibra intrafusar es variable y depende de factores múltiples. Algunos de ellos son: factores hormonales, factores tixotrópicos y factores neuro-tónicos. Esto será determinante a la hora de sus repercusiones didácticas.

Las hormonas (tales como la testosterona, la hormona de crecimiento y los estrógenos) son de gran influencia ya que tienen receptores en estas fibras. Pueden entenderse a las propiedades tixotrópicas como la mayor o menor esterificación de los geles, tanto intrafibrilares como los que relacionan las fascias y su fricción. Por último, el tono muscular y la mayor o menor descarga del sistema motor gamma, del cual depende el tono de la fibra intrafusar y su impacto en las respuestas propias.

Las fibras intrafusales promueven repuestas regulativas reflejas, de modo que más que hablar de reflejos conviene entender tales manifestaciones como **conductas regulativas**. Tienen objetivos precisos y desencadenan movimientos integrados, sinérgicos, con objetivos bien definidos inherentes a la conservación de la homeostasis. Explicaremos brevemente dos reflejos miotáticos de tracción: por un lado, el que conocemos como **dinámico o fasico**, que surge de la activación de las intrafusales de bolsa nuclear dinámicas (con inervación IA) y comunican información relativa a la velocidad de estiramiento. Este reflejo es de umbral bajo y adaptación rápida, activa reflejamente a las fibras extrafusales rápidas (FT) y su principal rol es el de proteger la estructura frente a

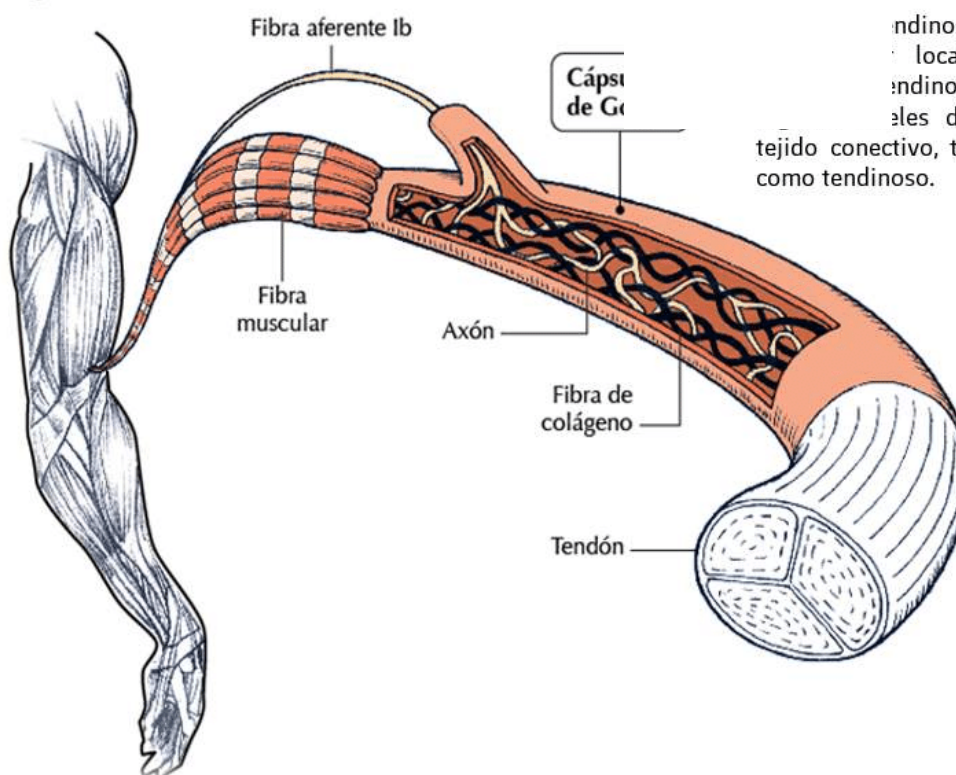
estiramientos veloces. Por otro lado, tenemos el llamado **lento o tónico** que depende de la activación de las fibras intrafusales de bolsa nuclear estática y de cadena nuclear (con inervación IIA), comunican información relativa a la magnitud e intensidad del estiramiento. De umbral más alto que las rápidas y adaptación más lenta, activan reflejamente extrafusales lentas (ST).

## Órgano tendinoso de Golgi

Se trata de un **sensor del grado de tensión del tejido conectivo**, tanto muscular como tendinoso. Quizás su mayor contribución tenga que ver con la prevención de lesiones mediante la activación del reflejo de inhibición autógena. Cuando los niveles de carga soportados por el tejido conectivo son excesivos, el órgano de Golgi promueve una respuesta regulativa inhibitoria. En sus expresiones máximas, se lo conoce como *reacción de navaja o cortapluma*. Cumple otras funciones importantes en el control motor general y, aparentemente, se encuentran también en las fascias, aunque poco sabemos de estas localizaciones y sus funciones específicas.

**Figura 8: Órgano tendinoso de Golgi, reflejo de inhibición autógena**

### ESQUEMA BÁSICO DEL ORGANO TENDINOSO DE GOLGI



El órgano tendinoso de Golgi es localizado en la tendinosa. Desde allí mide los niveles de tensión del tejido conectivo, tanto muscular como tendinoso.

Fuente: Di Santo, 2011, archivo propio, inédito.

El **reflejo de inhibición autógena** es trineural y bisináptico. Ante el estiramiento, tarda más en promover sus efectos específicos que el reflejo miotático de tracción y la mayoría de

los registros dan cuenta de que no es antes de los 6 segundos que su efecto inhibitorio predomina por sobre el excitatorio del RMT (Reflejo Miotático de Tracción). Sus consecuencias inhibitorias pueden revertirse rápidamente. Durante los gestos dinámicos, su contribución ya no parece ser inhibitoria, sino excitatoria; por lo tanto, en regulaciones posturales y motrices, sus responsabilidades parecen ser diferentes, aunque poco conocemos de esta última función. A este reflejo (inhibición autógena) lo promueven todos aquellos estímulos que generen un incremento de la tensión del tejido conectivo, como por ejemplo: estiramientos, masajes UMT, contracciones excéntricas, concéntricas y vibraciones.

## Las fascias

La formación de una red propioceptiva que contiene un alto valor, tanto, para el control motor como para la promoción de respuestas reflejas necesarias hacen de las fascias algo mucho más complejo que simples envoltorios musculares.

La fascia representa el tejido conectivo denso (regular e irregular) que forma, de diferentes maneras (las aponeurosis, los tendones, los ligamentos, las cápsulas articulares, recubrimiento neural, etc.) una red continua de conexión entre los elementos del aparato locomotor, como también el tejido conectivo laxo. Llena los espacios intermedios del cuerpo y, de esa forma, crea vínculos entre todos sus componentes anatómicos (vasculares, nerviosos, viscerales). Esos vínculos actúan no solo como medios de unión anatómica, sino que cumplen también tareas funcionales.

**Figura 9: Fascias y arquitectura compleja**



Fuente: Salud y Pilates, 2015, recuperado de <https://saludypilates.com/terapia-miofascial/>

Uno de las funciones preponderantes que llevan a cabo las fascias son el rol que ocupan en aspecto tales como, mantenimiento de la postura corporal, el control del movimiento y en su integración. La fascia no solo participa como envoltorio que rodea la fibra muscular

(epimisio), sino que impregna el tejido adiposo como la masa muscular. Esta infiltración se desarrolla de manera individual e independiente en cada ser humano.

Forma una red tridimensional de interconexión entre los niveles macro y microestructural corporal que penetra los espacios más profundos de su construcción. Estas conexiones pueden llegar a nivel celular e intracelular.

La conectividad epimuscular no es solo mecánica, sino neuropropioceptiva. Esto es clave en la transmisión de la fuerza y la ADM (amplitud de movimiento).

El **refinamiento propioceptivo de las fascias** es propuesto por Schleip (2013), quien formula principios de entrenamiento para las fascias. Muy brevemente, sugiere el saneamiento regular y mantenimiento en condiciones de las fascias como condición de posibilidad para un mejor aporte al control motor. Éste es uno de los pilares más importantes de la condición física. El autor sugiere:

- Estiramientos estáticos y dinámicos lentos.
- Micro-estiramientos y pandiculaciones.
- Tensiones regulares.
- Rolidos y drenajes.

Se trata de finas fibras mielinizadas que comienzan en las fascias. Recordemos que los receptores III son receptores de distorsión mecánica (ergoceptores) y algunos de los receptores IV son nociceptores y otros son metabaroreceptores. Los receptores III inician y mantienen las respuestas reflejas ventilatorias del ejercicio. Estos últimos se activan cuando aumenta el consumo de oxígeno y el flujo de sangre y cuando, tanto la contracción mantenida como la intermitente, las estimulan.

En los últimos años, se han producido gran cantidad de investigaciones que expresan el rol de las fascias como órganos propioceptores. Sin embargo, existen muchas dudas acerca del rol de las fascias:

- ¿Cómo es la distribución de los propioceptores en las fascias? Esta distribución, ¿depende de la arquitectura de dichas fascias? ¿Cómo contribuyen al control motor? ¿Qué sucede cuando se lesionan?

### **Receptores capsulares y ligamentarios**

Estos responden principalmente a las fuerzas compresivas y torsionales.

Ruffini en cápsula, Golgi en ligamentos y Vater-Pacini en la inserción del ligamento a la cápsula, aportan información crucial para legislar la actividad muscular de la cual depende la estabilidad articular. Precisamente, un ligamento “liga” porque informa.

Concluimos:

- Los propioceptores trabajan en equipo.
- Su disociación, para el entrenamiento, es prácticamente imposible.
- No podemos entrenar un tipo de propioceptores sin el otro o sin los demás.
- La propuesta de evaluación y entrenamiento supone su abordaje integrado e integral.
- Tacto y propiocepción tampoco se disocian fácilmente, lo cual nos permite abordar un tipo de sensibilidad: háptica.
- Solo el sentido vestibular podría, eventualmente, abordarse con un poco más de independencia, aunque no mucha.

### 1.2.2 Táctil y háptico

La **sensibilidad táctil** es clave para el control motor en la mayoría de los movimientos humanos, pero en los deportes su rol es crucial. Principalmente en los deportes de combate con componentes de sujeción, los datos táctiles son importantísimos para la regulación fina y final.

En la tercera edad, el aporte de información desde los receptores táctiles es crucial para la mayoría de conductas adaptativas. Sucede lo mismo con todas aquellas actividades en las cuales la manipulación de elementos es su rasgo distintivo.

No cesa de sorprendernos la falta de atención en la bibliografía a este sistema sensorial desde la mayoría de las metodologías de entrenamiento. Sin embargo, su aporte es tanto o más importante que el de los demás analizadores sensoriales y es susceptible de ser entrenado como cualquier otro. Cobra importancia vital ante la imposibilidad de disponer del analizador visual. No hemos encontrado propuestas metodológicas específicas para su entrenamiento, de allí la necesidad de proponer algunas coordinadas elementales. Por lo general, trabajan en sinergia con los analizadores propioceptivos que permiten un procesamiento diferencial, muy importante para las conductas motrices: la sensibilidad háptica.

En todas las acciones cotidianas empleamos la sensibilidad háptica ya que cuando levantamos pesos, detectamos el peso de un objeto (e incluso la de nuestro propio cuerpo). No podemos escindir la información aportada por los receptores táctiles y

propioceptivos, esto es, cuando nos atamos los cordones, cuando nos abotonamos la ropa, cuando cocinamos, etcétera.

Tanto la sensibilidad táctil y propioceptiva como háptica operan sincréticamente en la mayoría de las acciones humanas. Pueden entrenarse por separado, sin duda, aunque su operatividad sea integrada e integral en el control motor.

### 1.2.3 Visión

Se trata del sistema sensorial quizás más gravitante en la resolución de los actos motores en los deportes colectivos y tantos otros. La velocidad de procesamiento y construcción de la imagen es clave para las funciones motoras involucradas en la supervivencia.

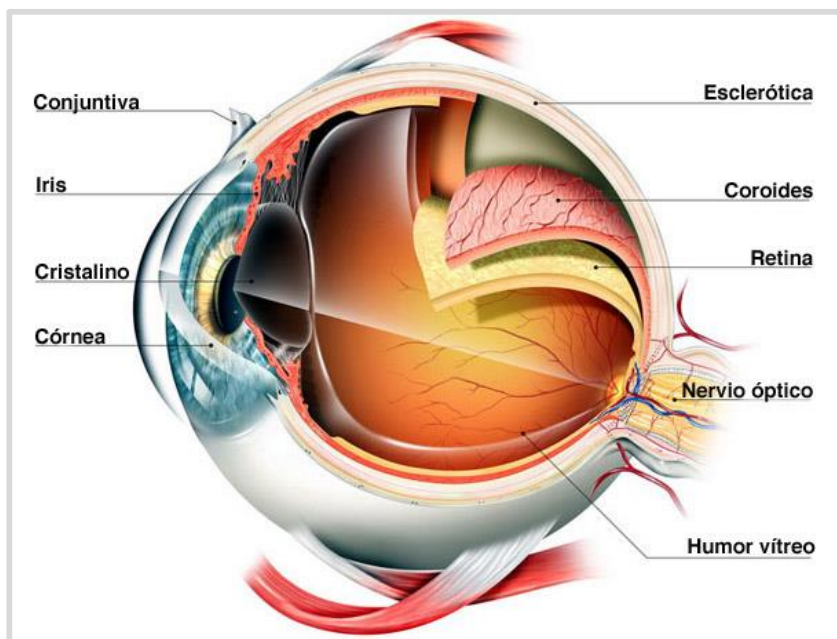
- El proceso de ver consta, a grandes rasgos, de las siguientes etapas:
  1. La luz, proveniente del sol o de otras fuentes, incide sobre los objetos y es reflejada por estos.
  2. La luz visible penetra en el ojo, atraviesa numerosos cuerpos transparentes y es refractada, por lo que se forma una imagen invertida del objeto en la superficie de la retina.
  3. La retina transforma las señales (potenciales de acción generados a diferentes frecuencias) que, a través del nervio óptico, se dirigen hacia los centros integrativos del SNC.
  4. La información proveniente de la retina es procesada en grupos neuronales complejos, situados primordialmente en tálamo, el tallo cerebral y la corteza. De esta integración resulta la sensación y percepción visual.
  5. Como etapa final, existe una adecuación motora del ojo como instrumento de recolección de información externa.

Recordemos que el ojo humano capta ondas entre **400 a 700 nanómetros**, en tanto que por debajo se encuentran los rayos infrarrojos y por encima los ultravioletas. Entre estos 300 nanómetros, se despliega el espectro visual susceptible de ser captado por el ojo humano. El ojo humano o globo ocular es el órgano destinado a la recepción de impresiones visuales formado por túnicas concéntricas que encierran medios transparentes, músculos que lo mueven y parareceptores que lo protegen.

Las tunicas concéntricas se disponen en porción externa (fibrosa esclerótica y cornea), media (vascular o coroides) e interna (neural o retina). La función de estas estructuras es la de rodear y contener los llamados medios transparentes (la córnea desempeña el doble papel de túnica envolvente y medio transparente). Las cámaras transparentes se constituyen por una cámara anterior (humor acuoso) y una cámara posterior (humor vítreo).

Una de la estructura más importante en el procesamiento visual es la **retina**. Esta es la capa donde transcurre la transformación de la energía luminosa en potenciales de acción susceptibles de ser transmitidos por vía neural hasta los centros de relevo y la corteza primaria en lóbulo occipital. Se extiende desde el orificio del nervio óptico hasta la cara posterior del iris y está compuesta por dos porciones: la anterior y la posterior. Esta última es la que conserva propiedades sensoriales, por cuanto se amolda al humor vítreo, está ligada a él, y contiene dos sectores muy importantes: la papila o disco del nervio óptico y la mácula lútea o amarilla.

**Figura 10: Anatomía del ojo humano**



Fuente: Newsmaster, s.f. recuperado de <http://newsmasters.info/anatom%EDA-del-ojo-wiki>

### Capas de la retina

A continuación, detallaremos las diez capas paralelas que conforman la retina, De lo superficial a lo profundo:

1. Epitelio pigmentario: conocida por ser capa más externa que presenta la retina. Constituida por células cúbicas. Estas mismas no son neuronas, poseen gránulos de melanina que le dan una pigmentación característica.

2. Capa de las células fotorreceptoras: formada por los segmentos más externos de los conos y los bastones.
3. Capa limitante externa: son uniones intercelulares del tipo zónula adherente (o desmosomas en banda) entre las células fotorreceptoras y las células de Müller.
4. Capa nuclear o granular externa: conformada por los núcleos celulares de las células fotorreceptoras.
5. Capa plexiforme externa: área de conexión sináptica entre células fotorreceptoras y las células bipolares.
6. Capa nuclear o granular interna: compuesta por núcleos celulares de las células bipolares, las células horizontales y las células amacrinas.
7. Capa plexiforme interna: zona donde se expresa la conexión sináptica entre células bipolares, amacrinas y ganglionares.
8. Capa de las células ganglionares: Moldeada por núcleos que emergen de las células ganglionares.
9. Capa de fibras del nervio óptico: Constituida por los axones de células ganglionares que configuran el nervio óptico.
10. Capa limitante interna: separa la retina del humor vítreo.

La información visual, es procesada mediante seis tipos diferentes de neuronas:

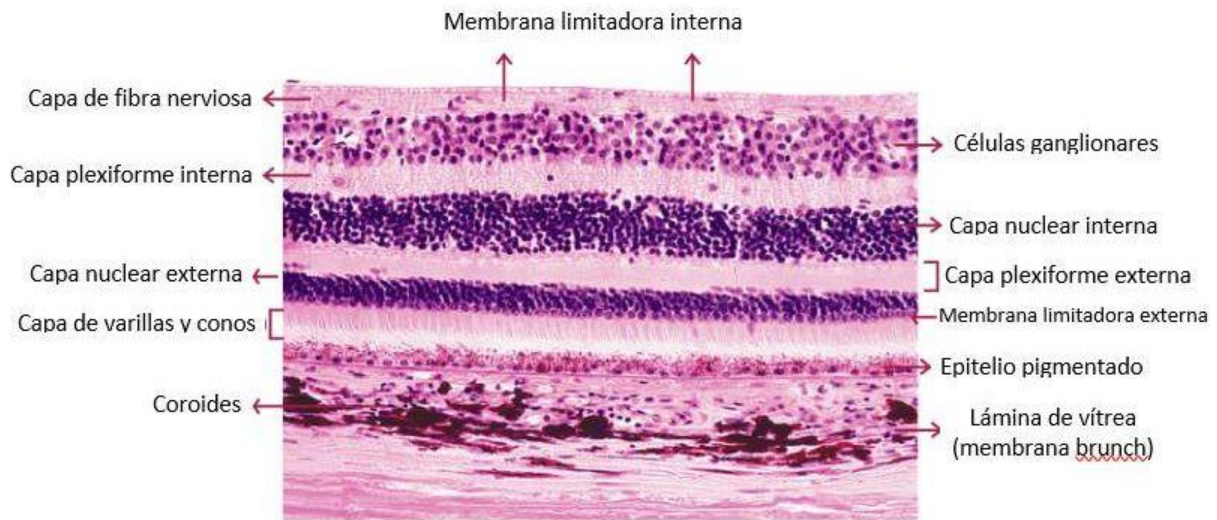
- Fotorreceptores.
- Células bipolares.
- Células ganglionares.
- Células horizontales.
- Células amacrinas.
- Células interplexiformes.

El rango de visión útil del ojo humano varía entre 1 minuto y 10 segundos, es decir, unas 11 unidades *log*, aproximadamente (el doble de las 5 unidades *log* de la mayoría de los receptores sensoriales). La razón de este rango duplicado de sensibilidad es la presencia en la retina de dos sistemas de receptores:

- Receptores para la visión nocturna: llamados bastones.
- Receptores para la visión diurna: llamados conos.

Las visiones difieren entre sí respecto a dos cualidades esenciales de percepción visual: a) la detección del **brillo** y b) la percepción del **color**. A la luz de la luna, los objetos carecen de color, pero difieren en su brillo. A la luz del sol, los objetos difieren tanto en su brillo como en su color. La superficie sensorial del ojo (la retina) se origina a partir del diencefalo y es, por lo tanto, una parte del SNC. Como mencionamos antes, ésta contiene varias capas.

**Figura 11: Imagen de las capas de la retina**



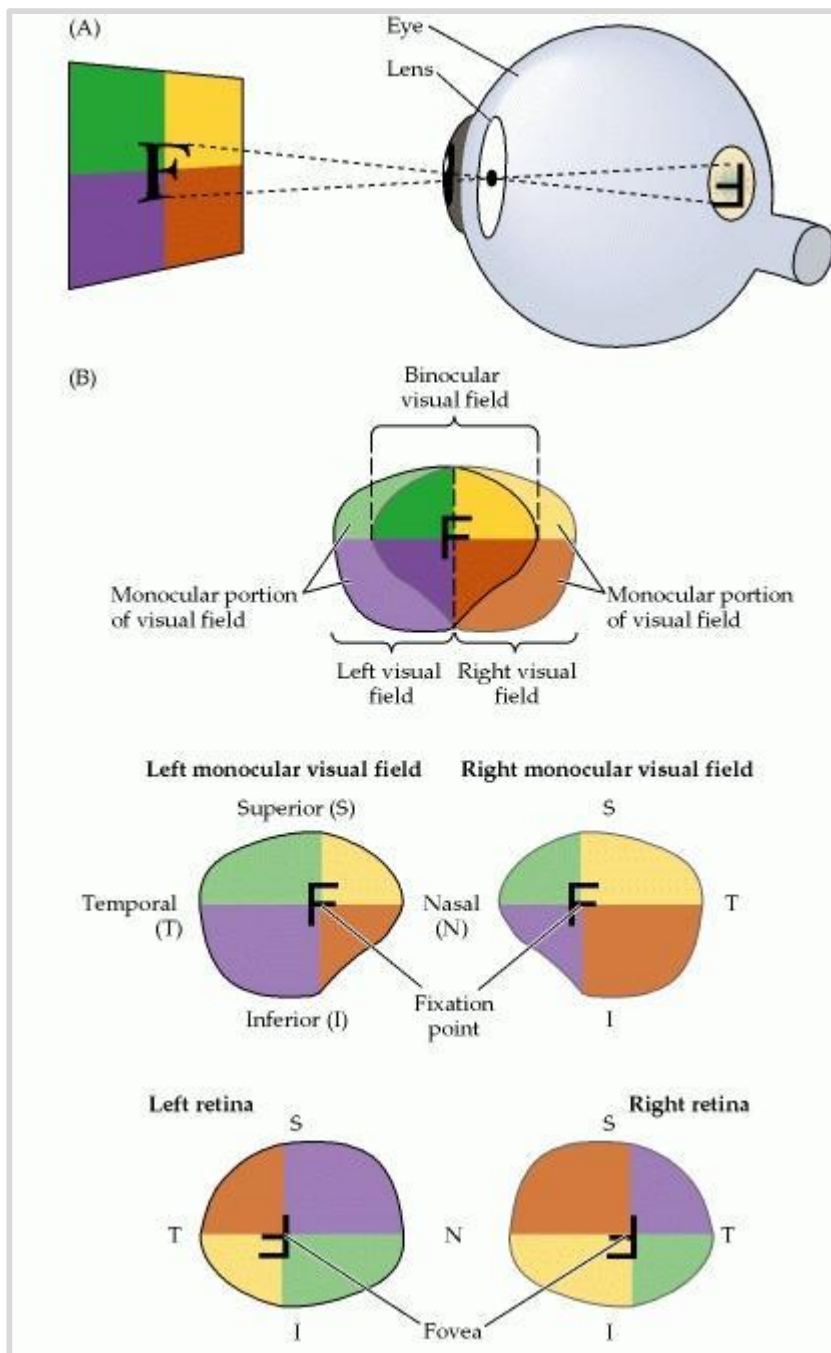
Fuente: elaboración propia, recuperado de <http://sosbiologiacelularytisular.blogspot.com/2011/12/ojo-retina-y-coroides.html>

Algunas características:

- Vemos que las diferentes capas están separadas por membranas.
- En la retina también hay membranas (“fascias”).
- Hay conectividad intra-retinal.
- La retina es un centro de procesamiento de información visual y no solo de recepción de estímulos.
- La luz atraviesa varias capas en la misma retina antes de modificar la rodopsina (proteína transmembrana que se encuentra en los discos de los bastones de la retina).

Las relaciones espaciales entre las células ganglionales de la retina se mantienen como representaciones ordenadas o mapas espaciales visuales. Además, la mayor parte de estas estructuras recibe información de ambos ojos, lo que requiere que estas aferencias se integren para formar un mapa coherente de puntos individuales del espacio. Como regla general, la información proveniente de la mitad izquierda del mundo visual está representada en la mitad derecha del encéfalo y viceversa.

Figura 12: ingreso de información al ojo



Fuente: Purves, 2007, p. 288.

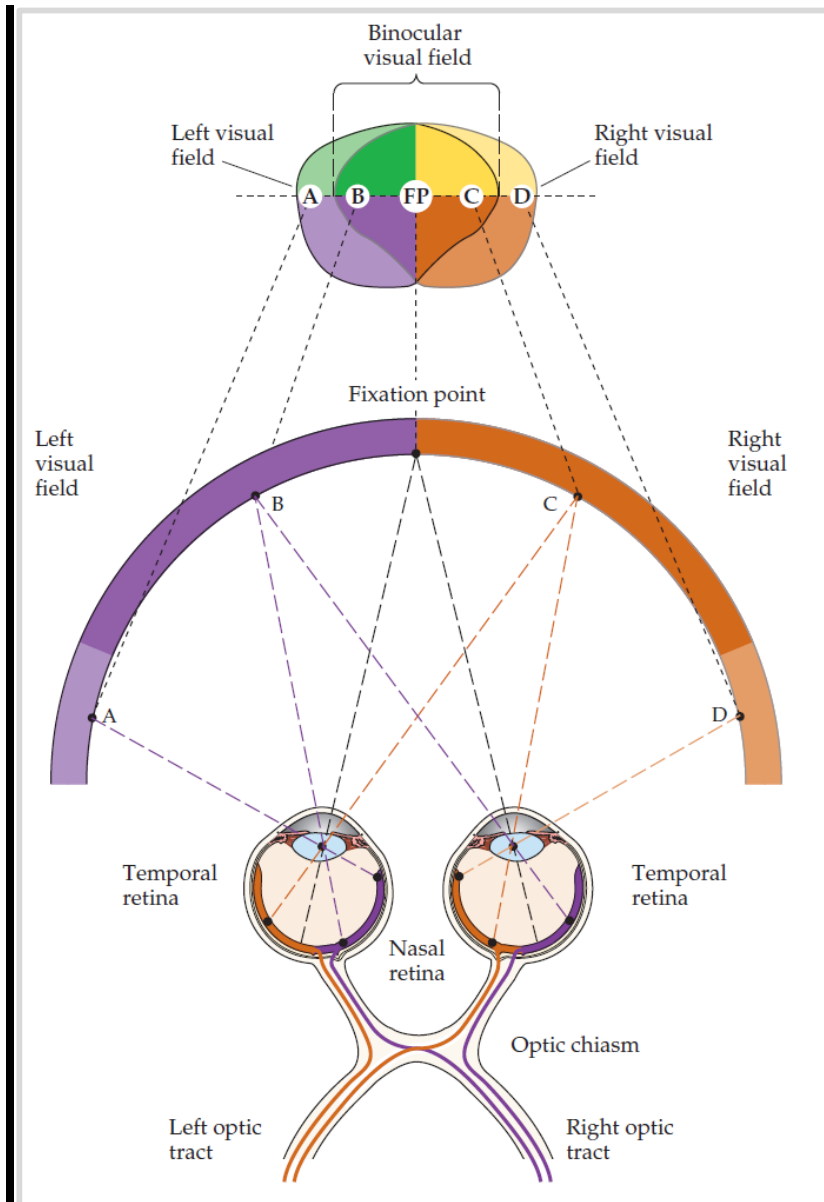
El conocimiento de la base neural, para la disposición apropiada de las eferencias provenientes de ambos ojos, requiere considerar cómo se proyectan las imágenes en las dos retinas y el destino central de las células ganglionares localizadas en diferentes partes de la retina. Cada ojo observa un sector del espacio visual. A los fines descriptivos, cada retina y su espacio visual correspondiente están divididos en cuadrantes. La superficie de la retina está subdividida por líneas verticales y horizontales que se cruzan en el centro de la fovea. La línea vertical secciona la retina en las divisiones **nasal y temporal**, en tanto que la línea horizontal lo hace en las divisiones **superior e inferior**. Las líneas verticales y

horizontales correspondientes al espacio visual (también llamadas “meridianos”) se cruzan en un punto de fijación (aquel en el cual el espacio visual cae sobre la fóvea) y definen los cuadrantes del espacio visual. El entrecruzamiento de los rayos de luz que divergen desde diferentes puntos sobre un objeto en la pupila hace que las imágenes de los objetos en el campo visual se inviertan y permuten de izquierda a derecha sobre la superficie retiniana. En consecuencia, los objetos que se encuentran en la porción temporal del campo visual son observados por la porción nasal de la retina; mientras que los objetos sobre la porción superior son observados por la porción inferior de la retina.

Con los dos ojos abiertos, ambas fóveas suelen alinearse con un punto diana único en el espacio visual, lo que hace que los campos visuales de ambos ojos se superpongan ampliamente. El campo binocular de visión presenta dos hemicampos visuales simétricos (izquierda y derecha). El hemicampo binocular izquierdo involucra el campo visual nasal derecho y el campo visual temporal del ojo izquierdo. El hemicampo derecho implica el campo visual temporal del ojo derecho y el campo visual nasal del ojo izquierdo. Los campos visuales temporales son más extensos que los nasales, lo que refleja sus tamaños. En consecuencia, la visión en la periferia del campo visual es estrictamente monocular, mediada por la porción más medial de la retina. La mayor parte del resto del campo de visión puede ser observada por ambos ojos; esto es, los puntos individuales en el espacio visual, que se ubican entre el campo visual nasal de un ojo y el campo visual temporal del otro.

Las células ganglionares que se ubican en la división nasal de cada retina dan origen a axones que se cruzan en el quiasma óptico, mientras que aquellas ubicadas en la retina temporal dan origen a axones que se mantienen del mismo lado. El límite o línea de decusación entre las células ganglionares que se proyectan en sentido contralateral y homolateral es una línea que pasa a través del centro de la fóvea y define el borde entre las hemirretinas nasal y temporal. Las imágenes de los objetos del hemicampo nasal izquierdo caen sobre la retina nasal de ojo izquierdo y la retina temporal del ojo derecho, mientras que los axones de las células ganglionares (en estas regiones de las dos retinas) se proyectan a través del tracto óptico derecho. Los objetos en el hemicampo visual derecho caen sobre la retina nasal del ojo derecho y la retina temporal del ojo izquierdo, mientras que los axones de las células ganglionares (en esta región) se proyectan a través del tracto óptico izquierdo. Como ya mencionamos, los objetos en las porciones monoculares de los hemicampos visuales son solo vistos por la retina nasal extrema de cada ojo: los axones de las células ganglionares en estas regiones (al igual que el resto de la retina nasal) se encuentran en el tracto óptico contralateral. Por lo tanto, al contrario del nervio óptico, el tracto óptico contiene los axones de las células ganglionares que se originan en ambos ojos y representan el campo contralateral de la visión. El siguiente gráfico explica esta descripción.

Figura 13: Campo visual izquierdo y derecho



Fuente: Purves, 2007, p. 288.

### Áreas de proyección cerebrales de la visión

La información que se procesa desde la retina, se propaga al cerebro mediante los axones ganglionares de los nervios ópticos, uno de cada ojo, por dos vías diferentes. La primaria se transmite por medio del **sistema genicular estriado**, mientras que la vía secundaria, a través del **sistema tectopulvinar**. Ambos sistemas se presentan conformados en sitios específicos del cerebro. Los dos nervios ópticos se cruzan con el denominado **quiasma óptico**. En el transcurso de este cruce en forma de **X**, unas fibras del ojo izquierdo se dirigen hacia el hemisferio cerebral derecho, mientras que otras atraviesan camino hacia el hemisferio izquierdo. De igual manera, las fibras correspondientes al ojo derecho van al hemisferio cerebral izquierdo y otra al hemisferio derecho.

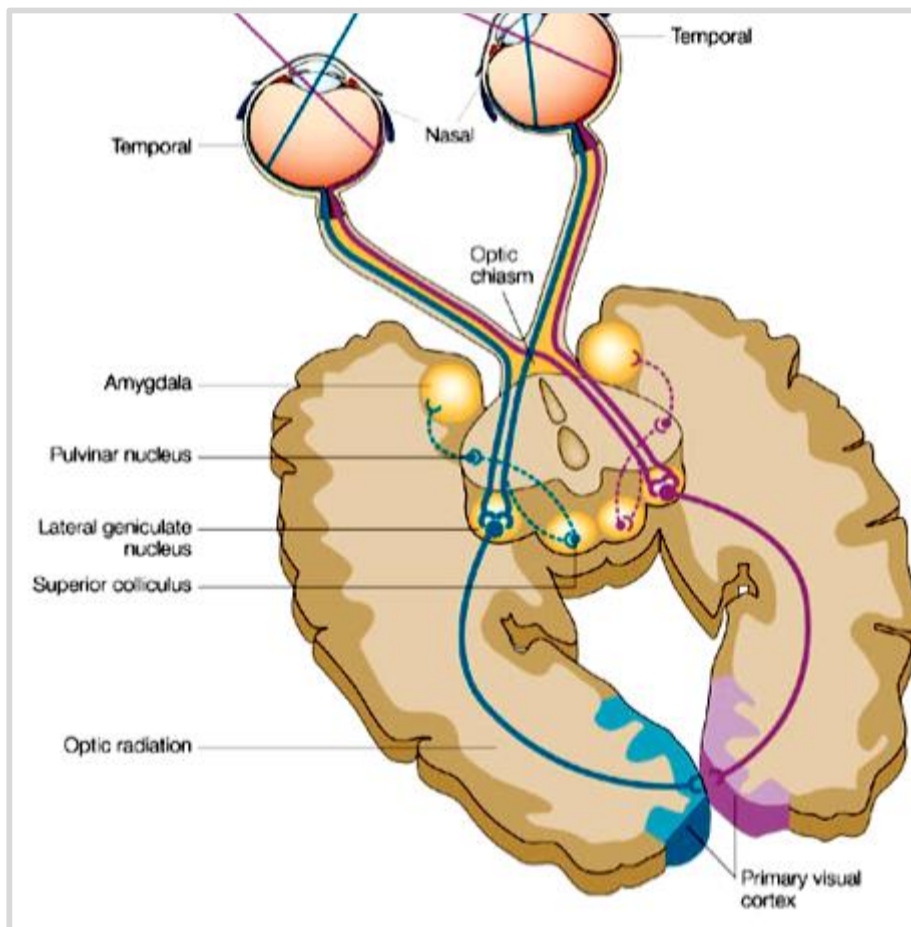
Las fibras de la retina temporal (la parte más cercana a la oreja) permanecen en el mismo hemisferio, en tanto que las fibras de la retina nasal (la parte más cercana a la nariz) cruzan al otro hemisferio.

Vamos a detallar a continuación las vías primaria y secundaria de los tractos ópticos:

- *Sistema genicular estriado*: los haces fibrosos que salen del quiasma óptico no se llaman ya nervio óptico, sino tracto óptico. Una parte principal de estas fibras alcanza una formación cerebral denominada núcleo geniculado lateral (NGL) situado en el tálamo (cerebro medio), en donde sinaptan con neuronas correspondientes. Las fibras que salen del NGL se abren en forma de abanico y llegan al lóbulo occipital (área posterior del cerebro), esto es: al área 17 (córtex estriado o corteza visual primaria) y a las áreas 18 y 19 (córtex extraestriado o corteza visual secundaria). Las funciones visuales del sistema genicular estriado se especializan en la identificación y el reconocimiento de imágenes.
- *Sistema tectopulvinar*: la otra parte del tracto óptico conduce a una formación en la base del cerebro (cerebro medio) conocida como tecto, mucho más antigua evolutivamente. La parte visual del tecto conecta con el colículo superior, desde donde la proyección sigue más arriba hacia el tálamo, tocando los núcleos pulvinar y lateral posterior. Por último, las fibras se encaminan a las áreas visuales del córtex.

Las funciones visuales del sistema tectopulvinar tienen que ver con la localización de objetos en el espacio.  
<https://es.scribd.com/presentation/143415734/ORGANIZACION-NERVIOSA-DEL-SISTEMA-VISUAL-ppt>.

Figura 14: Sistemas genicular estriado y tectopulvinar

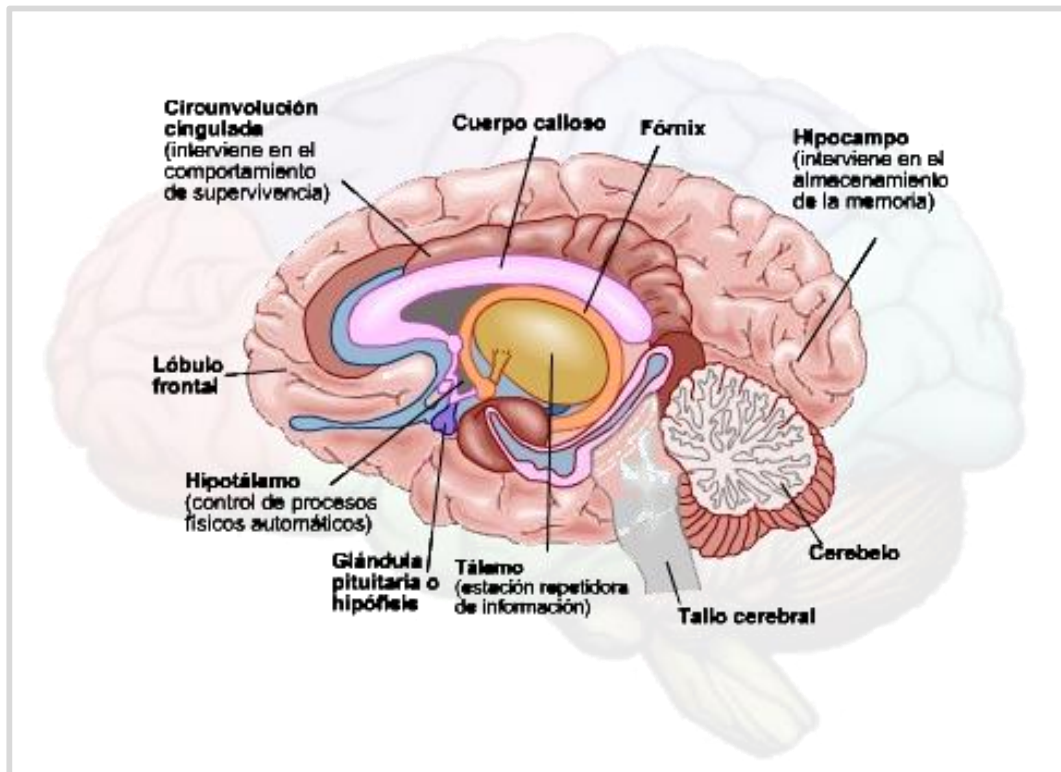


Fuente: Enrique, 2013, recuperado de <https://vidauniversoydemas.wordpress.com/2013/10/24/color-una-invitation/>

## Tálamo óptico

Se trata de un pequeño cerebro sensorial, en donde se procesa toda la información aferente antes de continuar su periplo hasta la corteza primaria, excepto la olfativa. El tálamo también cartografía la información retiniana, con distribuciones espaciales tal como si se tratase de un homúnculo sensorial. La conmutación es ordenada. Es un complejo nuclear ovoide, grande, situado en la pared del diencefalo. Por fuera hay una capa de fibras mielínicas llamada lámina medular externa que separa el cuerpo principal del núcleo reticular. La masa principal se llama tálamo posterior. El tálamo anterior es el núcleo reticular más unas estructuras adyacentes.

Figura 15: Tálamo



Fuente: Barenys, s.f. recuperado de <https://supercurioso.com/partes-del-cerebro-las-conoces-todas/>

## A modo de resumen

Podríamos comparar la fisiología del ojo con una cámara de foto: las imágenes que quedan registradas en una cinta, son procesadas en el cerebro. Esto permite que dichas imágenes se integren con el resto de los sentidos.

Como vimos anteriormente, en la retina se dan fenómenos de gran complejidad en el sistema visual. La luz debe pasar por las capas del ojo hasta llegar al cerebro.

La primera capa transparente es la córnea que cierra la cámara anterior del ojo. El iris actúa como el diafragma de una cámara fotográfica y regula la cantidad de luz que pasa por la pupila. El iris tiene colores diversos.

El cristalino es un lente convergente constituido por láminas, unidas por ligamentos a la segunda capa del ojo o coroides. Por acción de los músculos, el cristalino acomoda su forma para permitir la proyección de una imagen invertida a la retina. Las variaciones del tamaño del cristalino y su diámetro pupilar son los que nos permiten enfocar objetos a distintas distancias del campo visual.

En la retina y en sus capas, como mencionamos anteriormente, coexisten células llamadas conos, las cuales se estimulan preferentemente durante el día, lo que permite

percibir el color de las imágenes. Por la noche se estimulan los bastones y por ello vemos los objetos en blanco y negro.

## 1.2.4 Audición vestibular

### El sistema auditivo

El sistema auditivo es un conjunto de estructuras especializadas en la captación, recepción, análisis, y codificación del sonido que llega del medio ambiente. Éste envía información al cerebro en forma de impulsos nerviosos para su percepción e interpretación. Trabaja en sinergia con los demás sistemas sensoriales, sobre todo con el visual.

Comprende anatómicamente:

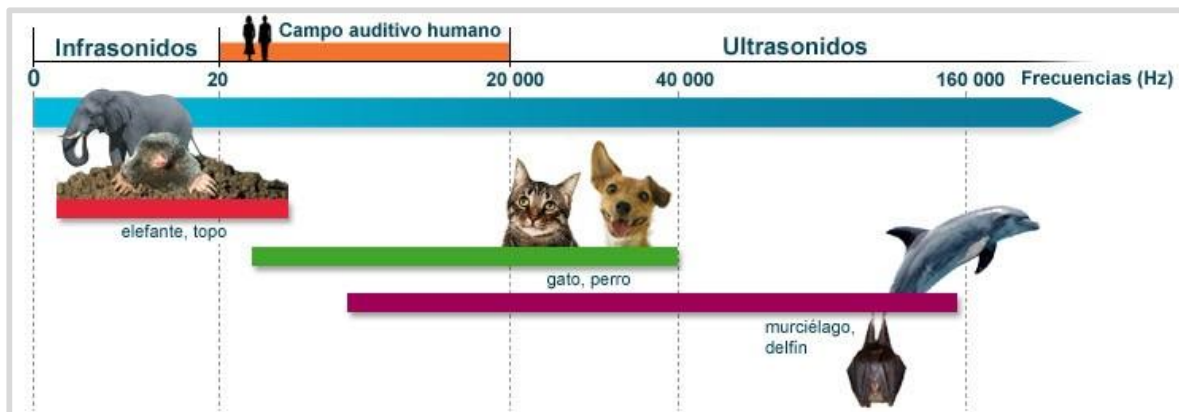
1. Oído externo: oreja y conducto auditivo externo.
2. Oído medio: tímpano, huesecillos, cavidades timpánica y mastoidea, músculos del martillo y estribo y trompa de Eustaquio.
3. Oído interno: porción coclear, vías nerviosas, núcleos y centros nerviosos auditivos del tallo, tálamo y corteza.

El sistema auditivo es de vital importancia en las actividades físicas ya que es clave para el control motor. Impacta, fundamentalmente, en los deportes con acción de bote o pique, en los que encontramos habitualmente perturbaciones auditivas.

Comenzaremos por definir el sonido. El sonido es el estímulo adecuado del receptor auditivo, es un tipo de energía mecánica constituido por pequeñísimas variaciones de presión del medio ambiente, las cuales se propagan a gran velocidad (340 m/s) y en todas direcciones a partir de su origen. Ese origen es casi siempre un objeto que vibra, como nuestras cuerdas vocales. Estas variaciones de presión se repiten muchas veces por segundo. El número de variaciones por segundo se llama **frecuencia** y se expresa en Hertz (Hz). Los seres humanos podemos captar frecuencias entre los **20 y 20.000 Hz**. Por debajo de estas cifras, hablamos de infrasonidos; por encima, de ultrasonidos. Ninguno de los dos es perceptible por el oído humano.

Los sonidos son puros cuando están constituidos por una sola frecuencia, o bien complejos cuando están compuestos por varias (son los que oímos a diario). Una frecuencia de pocos Hz es grave y una de muchos Hz es aguda. La **amplitud** es una dimensión física del sonido que refiere a las variaciones pequeñas o grandes de presión y se mide en decibeles (dB). La frecuencia es una dimensión física del sonido que provoca sensaciones auditivas que definimos como altura o tono.

Figura 16: Frecuencias del sonido



Fuente: Blatrix, 2018, recuperado de <http://www.cochlea.org/es/sonidos/campo-auditivo-humano>

### Funciones del oído externo

Constituido por la oreja y el conducto auditivo externo, permite que el sonido acceda a las estructuras profundas del oído interno, lo protege de lesiones provenientes del exterior y localiza el origen del mismo, lo cual resulta clave para detectar posibles fuentes de peligro o alimento. Por último, otra característica que posee el oído externo es la **resonancia**, ya que al llegar al conducto auditivo externo, el sonido sufre una modificación en la composición de frecuencias, lo que produce un aumento de la intensidad del mismo.

### Funciones del oído medio

Comprende la membrana timpánica, los huesecillos, los músculos del martillo y del estribo, la trompa de Eustaquio, las cavidades aéreas de la mastoides y sus membranas. La función más importante es la de operar como **transformador acústico**, o sea, hacer eficiente el paso de la energía acústica del medio aéreo exterior al medio líquido interior. Sin el oído medio, el sonido no entraría a los líquidos del oído interno, sino que se reflejaría nuevamente al exterior, sin estimular las células receptoras. El oído medio produce un aumento en la presión del sonido que llega a la ventana oval, por las diferencias de áreas entre tímpano, martillo yunque y estribo. Por diferencias de superficie y efecto de palanca, amplifica 22 veces el sonido que finalmente recibe la ventana oval.

El martillo transmite las vibraciones de la membrana timpánica al yunque, este al estribo y, finalmente, este último a la ventana oval. Las diferencias de superficie explican la amplificación.

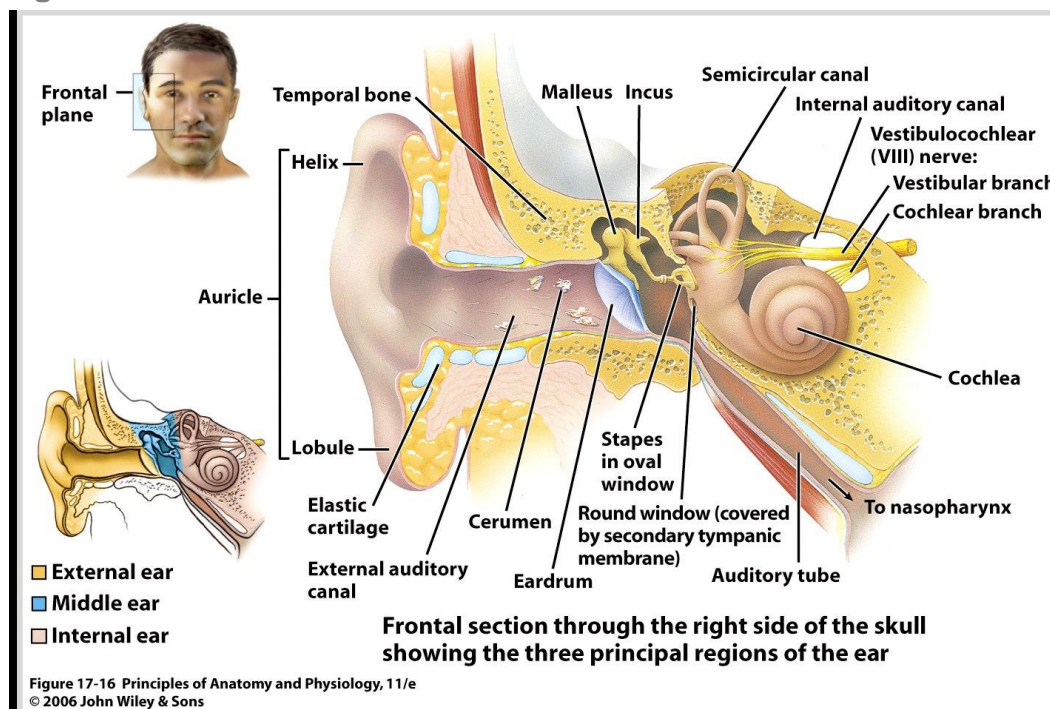
## Oído medio y otras consideraciones

Protege la ventana redonda y canaliza la energía sonora de tal manera que sólo llegue a la ventana oval e impide que alcance la ventana redonda. Si el sonido llegara simultáneamente a las dos ventanas, se cancelaría a sí mismo al actuar por ambos lados de la membrana basilar coclear (serían dos ondas en sentido contrario). También comunica cavidades aéreas del oído medio con la nasofaringe: repone aire y mantiene equilibrio de presiones. Regula la energía y reduce la movilidad de los huesecillos para amplificar el sonido en la medida justa. De este modo hace viable su transmisión al oído interno y al mismo tiempo, lo protege.

## El oído interno

Está constituido por dos porciones: por un lado podemos nombrar al **laberinto anterior o cóclea** (porción auditiva), y por el otro lado encontramos el **laberinto posterior o vestibular** (porción perceptiva de aceleraciones y rotaciones). La cóclea posee forma de tubo, enrollado en sí mismo, el cual da más de dos vueltas sobre el eje central, con paredes formadas de hueso sólido. Esta estructura del oído contiene dos líquidos diferentes, separados por membranas, a saber, la **perilinf**a y la **endolinf**a. Por último, contiene las **membranas basilar y de Reissner** y las **rampas timpánica, media y vestibular** (en la media, sobre la basilar, está el órgano de Corti).

Figura 17: Estructuras del oído



Fuente: Universidad de Cantabria, S.F <http://fisiologi2014.blogspot.com/2014/09/sentidos-especiales.html>

## Mecánica coclear

Al llegar el sonido a la ventana oval por las vibraciones del estribo, se transmite a través de la perilinfa de la ramba vestibular y hace vibrar a la membrana de Reissner. A través de ella, también hace vibrar a la endolinfa y a la membrana basilar, sobre la cual descansa el órgano de Corti. Las vibraciones llegan a la perilinfa de la ramba timpánica y, por último, a la ventana redonda. El cierre de la ventana redonda permite la transmisión de las vibraciones por la cóclea. Al moverse la membrana basilar, forma "ondas viajeras" que se despliegan hasta el ápex. Al deformarse la membrana basilar por estas ondas viajeras, se producen los cambios en el órgano de Corti. Esta deformación ciliar en el órgano de Corti, es el último evento mecánico en la audición.

## Procesamiento no mecánico de la audición

- Órgano de Corti: sus células configuran el 8vo. par craneal o nervio auditivo, el cual abandona el oído.
- Tálamo: éste comprende a los núcleos geniculados laterales, según tonos.
- Corteza: el sentido de la audición se centra en las áreas 41 y 42 en el lóbulo temporal.

Figura 18: áreas cerebrales y los sentidos



Fuente: Bosch, 2007, recuperado de [http://www.perceptnet.com/cien09\\_07.htm](http://www.perceptnet.com/cien09_07.htm)

## Sistema vestibular

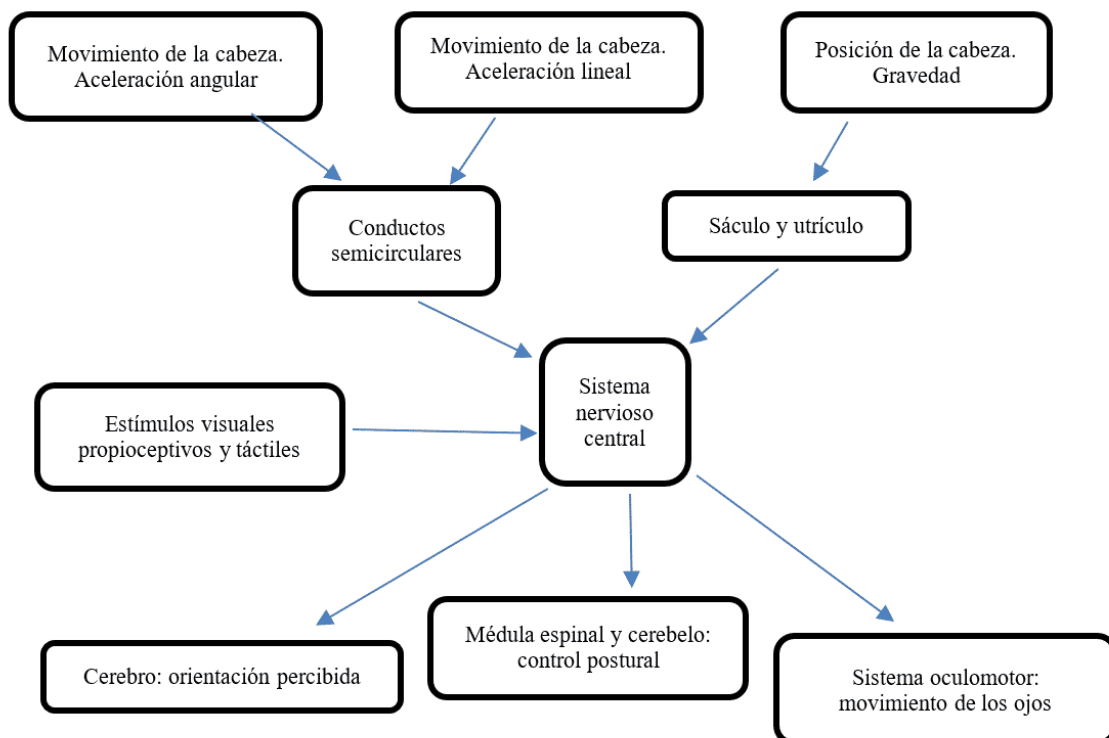
El sistema del equilibrio es más complejo que el sistema auditivo, debido sobre todo al componente motor. No hay una estructura que por sí sola cumpla con el funcionamiento de este. El sistema consiste en múltiples impulsos sensoriales de órganos sensoriales terminales vestibulares, sistema visual, sistema somatosensorial y propioceptivo. Luego, la información se integra a nivel del tallo encefálico y el cerebelo, con importante influencia de la corteza cerebral (como los lóbulos frontal, parietal y occipital). La información integrada provoca diversas reacciones motoras estereotípicas, de movimiento ocular, control postural e impulsos de salida perceptuales.

### Las funciones del sistema vestibular son:

1. informar al sistema nervioso central sobre cualquier aceleración o desaceleración angular o lineal;
2. ayudar en la orientación visual, mediante el control de los músculos oculares;
3. controlar el tono de los músculos esqueléticos para la mantención de una postura adecuada.

A continuación, exponemos un esquema que ilustra el rol del sistema vestibular en el control de la postura, los movimientos de los ojos y la percepción de orientación.

**Figura 19: cuadro integrador del sistema auditivo**



Fuente: elaboración propia.

## Información entregada por el laberinto:

Información sobre la posición de la cabeza en el espacio.  
(Función estática: receptores maculares).

Información sobre los desplazamientos de la cabeza.  
(Función cinética: receptores ampulares).

La transformación que emerge de las diferentes etapas dentro de la estimulación vestibular mediante un mensaje sensorial codificado a nivel del nervio vestibular, existen:

1. Cambio del estímulo por las estructuras laberínticas en función de las diferentes características mecánicas e hidrodinámicas.
2. Transducción mecanosensorial con aparición de un potencial de receptor.
3. Conformación de un potencial generador postsináptico y de potencial de acción.

Los conductos semicirculares se organizan en pares:

1. Dos conductos horizontales.
2. Un conducto superior y otro conducto posterior contralateral.
3. El conducto posterior y el superior contralateral.

Los **órganos otolíticos**, los cuales se desenvuelven funcionalmente de a par. Aquí, las dos máculas utriculares se ubican próximas al plano horizontal, mientras que las dos máculas saculares aparecen en el plano vertical, cuya angulación es de unos 30° hacia adentro en relación al plano sagital aproximadamente.

## Funcionamiento de los conductos semicirculares

En el momento que se produce el giro de la cabeza, la endolinfa queda quieta por inercia, así moviliza mediante empuje la gelatina de la ampolla e inclina los estereocilios hacia un lado. Debido a la simetría de los canales semicirculares que se ubican de ambos lados, en un sitio los estereocilios se inclinan hacia el quinocilio, aumentando así la descarga del nervio vestibular, todo sobre ese sitio, por lo tanto del otro lado, se inclinan hacia la dirección opuesta del quinocilio, disminuyendo así la descarga del nervio vestibular.

En situación de reposo, el nervio vestibular presenta en ambos lados una actividad de 50 potenciales de acción por minuto aproximadamente. Esto sucede, debido a que los núcleos vestibulares presentan conexiones que inhiben los núcleos contralaterales, pero cuando la actividad es equitativa en ambos lados la misma se anula.

En cuanto gira la cabeza, se incrementa la actividad en un lado, disminuyendo así la contralateral. Este tipo de desequilibrio se percibe de manera subjetiva como giro de la cabeza, produciendo movimientos en los ojos para poder compensar.

Los denominados conductos semicirculares (CSC) interceden en el reflejo vestibulo-ocular. Este reflejo cumple la función de mantener la mirada estable sobre un mismo punto. Cuando los CSC logran localizar el giro de la cabeza, los núcleos vestibulares envían señales a aquellos núcleos encargados de controlar los movimientos de los ojos, así los se mueven en sentido contrario al de la cabeza, de esta manera permiten la compensación entre el movimiento y seguir mirando un mismo punto.

### **Funcionamiento del utrículo y el sáculo**

La intervención del **utrículo** y el **sáculo** en los reflejos tónicos son conocidas como las estructuras del aparato vestibular. Dichas estructuras hallan la posición estática de la cabeza en relación con la vertical (los CSC localizan e informan solo aquellos movimientos que producen el giro, no así posiciones estáticas).

Tanto el utrículo como el sáculo, se los conoce como **bolsas de membrana**, las cuales están llenas de endolinfa. Las mismas presentan una zona o demarcación de la pared que está tapizada de un epitelio de células ciliadas. Estas células se encuentran cubiertas de una gelatina, donde se depositan cristales de carbonato cálcico. Se deslizan hacia un lado por su peso, y al generar dicha acción, inclinan los **estereocilios hacia un lado**.

Cuando estos quedan inclinados y orientados hacia el kinocilio, la célula se despolariza. Este proceso se debe a que los estereocilios están conectados con los estereocilios vecinos por filamentos. Estos filamentos se unen a los canales de potasio en la membrana. En el momento que los estereocilios se doblan hacia el kinocilio, los filamentos se tensionan abriendo así los canales de potasio. Debido a que la concentración de potasio en la endolinfa es elevada, el potasio ingresa dentro de la célula y así la despolariza. En caso de que los estereocilios se inclinasen en dirección opuesta, por el contrario, la célula se hiperpolariza. Por consiguiente, el utrículo y el sáculo detectan si la cabeza está inclinada.

### **Reflejos posturales tónicos**

Los **reflejos posturales tónicos** son un conjunto de reflejos cuya función es mantener la posición erecta de la cabeza y del cuerpo con respecto a la vertical. Están controlados por los núcleos del tronco del encéfalo, por lo que se pueden estudiar con más claridad en una preparación descerebrada, en la que se desconecta el tronco del encéfalo de los niveles superiores. Los reflejos posturales tónicos utilizan, por un lado, información del aparato

vestibular, que indica la posición de la cabeza en el espacio (reflejos vestibulares) y por otro lado información de los receptores en los músculos del cuello, que indican si el cuello está flexionado o girado (reflejos cervicales). Los reflejos tónicos actúan sobre la posición del cuello (**reflejo vestibulocervical y cervicocervical**) y de las extremidades (**reflejo vestibuloespinal y cervicoespinal**).

La función fisiológica de los reflejos vestibulocervical y cervicocervical es mantener la posición de la cabeza.

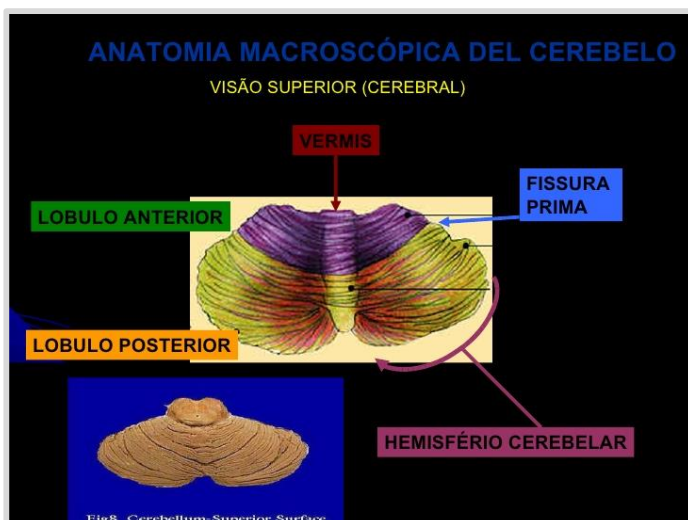
El reflejo vestibuloespinal tiende a impedir la caída cuando el sujeto está sobre una superficie inclinada y el reflejo cervicoespinal cancela al vestibuloespinal cuando la posición de la cabeza se mueve por flexión del cuello. <https://es.scribd.com/presentation/41767890/REFLEJOS-TONICOS-DE-CUELLO>.

## Vestíbulo-cerebelo

Anatómicamente se asocia al nódulo-flóculo. Es de gran importancia en la colaboración con los núcleos vestibulares en las funciones que implican mantener el equilibrio como también en el ajuste del reflejo véstíbulo ocular.

Las lesiones que se producen en el véstíbulo-cerebelo, generan síntomas similares a las lesiones de los núcleos vestibulares en el lado contralateral. Esto se produce, debido a que la corteza vestibulocerebelo inhibe a los núcleos vestibulares ipsilaterales, la lesión del véstíbulo-cerebelo generar hiperactividad vestibular ipsilateral, es decir una lesión de los núcleos vestibulares contralaterales

## Figura 20: División morfológica del cerebelo



Fuente: <https://es.slideshare.net/rodolphofranco/snc-cerebelo>

## Referencias

- Acosta, M. y Fabricio, J.** (2013). *Ejercicios de Frenkel y su incidencia en la mejoría de pacientes de 40 a 70 años con vértigo posicional*. Universidad técnica de ámbito. Facultad ciencias de la salud. Carrera de terapia física.
- Alvarado, J.** (1997). *Análisis del procesamiento de la estimulación visual*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Psicología. Departamento de metodología de las ciencias del comportamiento.
- Alvarado, S.** (2015). *Problemas ópticos*. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://problemasopticosbiologia.blogspot.com/2015/08/problemas-opticos.html>.
- Barenys, L.** (s.f.). *Partes del cerebro. ¿Las conoces todas?* [entrada de blog] recuperado de <https://supercurioso.com/partes-del-cerebro-las-conoces-todas/>
- Blatrix, S.** (6 de junio de 2018). *Campo auditivo humano* [artículo en línea] Recuperado de <http://www.cochlea.org/es/sonidos/campo-auditivo-humano>
- Bosch, M.** (25 de septiembre de 2007). *Viendo sonidos y oyendo imágenes: integración multisensorial. Primera parte: fenómenos sorprendentes y antiguas hipótesis* [entrada de blog] recuperado de [http://www.perceptnet.com/cien09\\_07.htm](http://www.perceptnet.com/cien09_07.htm).
- Di Santo, M.** (2011). *Neurociencias y motricidad humana*. Córdoba. [http://www.institutocae.edu.ar/datos/adjuntos/adj\\_223\\_2.pdf](http://www.institutocae.edu.ar/datos/adjuntos/adj_223_2.pdf)
- Enrique** (24 de octubre de 2013). *Color. Una invitación*. [entrada de blog] recuperado de <https://vidauniversoydemas.wordpress.com/2013/10/24/color-una-invitation/>
- Nápoles, J.** (2013). *Organización nerviosa del sistema visual*. <https://es.scribd.com/presentation/143415734/ORGANIZACION-NERVIOSA-DEL-SISTEMA-VISUAL-ppt>
- Newsmaster** (s.f.). *Anatomía Del Ojo Wiki*. Recuperado de <http://newsmasters.info/anatom%EDa-del-ojo-wiki>
- Pineda, A.** (2010). *Reflejos tónicos de cuello*. <https://es.scribd.com/presentation/41767890/REFLEJOS-TONICOS-DE-CUELLO>.
- Purves, D.** (2007). *Neurociencias*. Buenos Aires: Panamericana.
- Salud y pilates** (3 de julio de 2015). *Terapia Miofascial* [entrada de blog] recuperado de <https://saludypilates.com/terapia-miofascial/>
- Schleip, R. y Müller, D. G.** (2013). *Training principles for fascial connective tissues: scientific foundation and suggested practical applications*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23294691>.
- Universidad de Cantabria** (s.f.). [http://2.bp.blogspot.com/-EdC6hSDAQWw/VAvxXE0438I/AAAAAAAAABGU/\\_7rz97u55Z4/s1600/anatomia%2Boido.png](http://2.bp.blogspot.com/-EdC6hSDAQWw/VAvxXE0438I/AAAAAAAAABGU/_7rz97u55Z4/s1600/anatomia%2Boido.png)
- Wikipedia** (s.f.). *Charles Scott Sherrington* [artículo en línea] Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Scott\\_Sherrington](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Scott_Sherrington)