

CAPÍTULO 3

Fisiología sensorial

Lady Viviana Arguello Salcedo

El fenómeno de la visión es el resultado de procesos físicos, químicos, motores y sensoriales que suceden en el sistema visual y que permiten la percepción por parte de los sujetos, de una imagen con nitidez, color, tamaño, forma, movimiento y estereopsis. Todo esto gracias a que las estructuras anatómicas, la función visual monocular y binocular integran su funcionamiento, para hacerlo posible.

Desde lo sensorial, la visión monocular es esencial e imprescindible para la posterior integración binocular y la activación de múltiples áreas cerebrales, de esta depende no solo el desarrollo de la visión en su conjunto, sino también dependen la integración neuronal, sensorial y perceptual que influye en habilidades de aprendizaje, propiocepción, localización espacial, integración cognitiva y habilidades psicosociales, entre otras.

De acá deriva la importancia de entender los componentes de la visión monocular, para de esta forma, poder analizarla, entenderla y asociarla en su funcionamiento con pacientes que asisten a nuestra consulta clínica.

Visión Monocular

Fijación

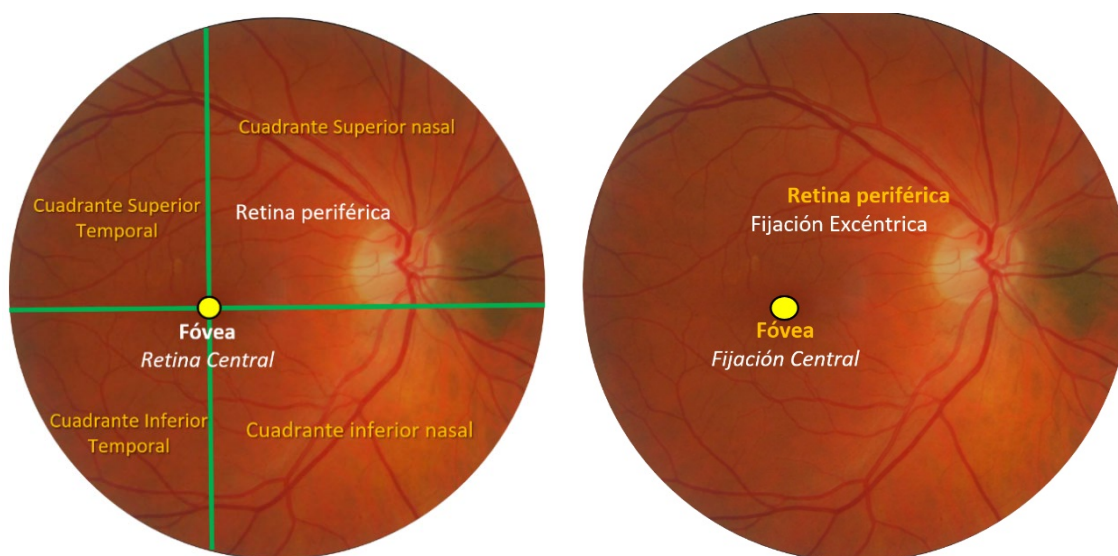
La fijación es el reflejo precursor del desarrollo sensorial, se destaca porque como vimos en el primer capítulo, es la primera habilidad instaurada después del nacimiento y gracias a este, la visión binocular podrá llevarse a cabo. Solo para recordar, en el nacimiento la visión está a cargo de la retina periférica y la Agudeza Visual (AV) del neonato está disminuida, la razón fundamental es que los Conos, fotoreceptores encargados del detalle, no están organizados en la retina central o sea en la Fóvea (Taylor, 2005).

En esta organización, se espera que la fijación sea central, es decir, que la Fóvea, lugar donde se alojan 90% de los 110-120 millones de Conos, sea la responsable de captar las imágenes, de no ser así nos encontramos con una *fijación excéntrica*. La fijación excéntrica es el resultado de una desviación de los ejes visuales durante los primeros 4 años de vida, a este fenómeno lo llamamos *estrabismo*. Se destaca porque al no estar la Fóvea estimulada en ese periodo, no

adquiere jerarquía sobre el restante de la retina y trae como consecuencia un sistema que no aprende a desarrollarse porque la Fóvea no es responsable de la visión, sino un área que no brinda máxima calidad visual. Esto trae consecuentemente retraso en el crecimiento de las células retinales, de las capas del Cuerpo Geniculado Lateral y de las células del Córtex occipital, a este fenómeno lo conocemos como ambliopía, que para el caso será de etiología estrábica (Ciuffreda, 1991).

A partir de la Fóvea dividimos la retina como central y periférica, las áreas estimuladas por la zona central representan en campo visual central y la periférica como campo periférico. Así mismo, desde la Fóvea podemos hacer una división por cuadrantes, es de resaltar que a mayor excentricidad menor será la AV, dada la menor cantidad de Conos en zonas lejanas a la Fóvea. (Mortera Dantas, 1995).

Figura 3.1. Divisiones fisiológicas de la Retina.



Agudeza visual (AV)

Esta habilidad monocular podríamos definirla como “(...) la capacidad de reconocer los más pequeños detalles de los objetos del espacio. Partiendo de este poder resolutivo de la vista, se puede definir la agudeza visual como el poder de discriminación del ojo” (Gil del Rio, 1984).

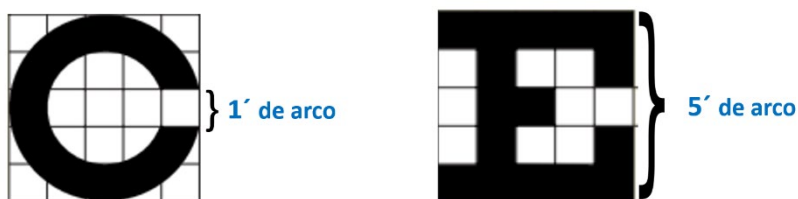
Se destaca porque está condicionada por factores anatómo-funcionales basados en la integridad del sistema y la vía visual, factores de organización retinal como la separación entre fotorreceptores, la relación fotorreceptor – células ganglionares y la focalización de las imágenes en la Fóvea (Guerrero, 2012).

Al ser la AV la habilidad de discriminación visual, depende de la forma en la que están presentados los estímulos, es decir, si los estímulos presentan mínimos requisitos para ser discriminados, captados y procesados por las retinas y las vías, se producirá algún grado de AV (Guerrero, 2012).

Los requisitos incluyen los criterios básicos de la AV que son: (Kaufman & Alma, 2004) (Gil del rio, 1985):

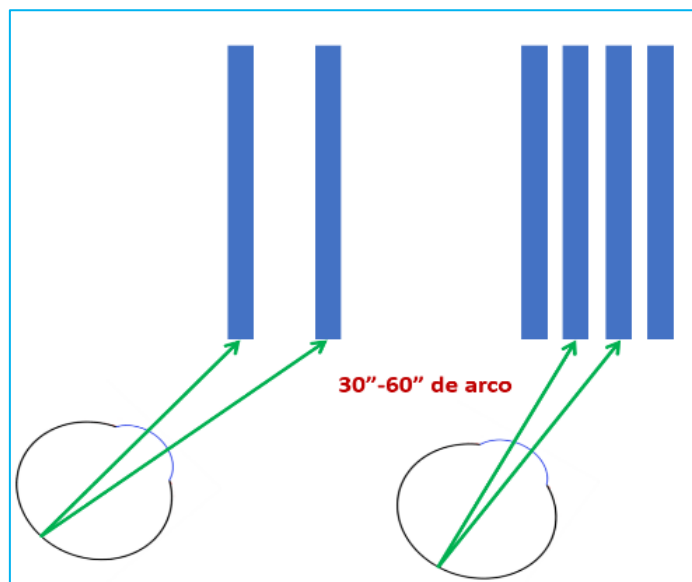
- *Mínimo visible*: Llamado por Westheimer como “*criterio de la presencia de una característica aislada*”, se define como el estímulo más pequeño diferenciable que puede distinguirse, en el caso del ojo humano este valor es mínimo de 1 minuto de arco. Para la determinación clínica de la AV tomamos un estímulo que tenga 5 minutos de arco, esto porque nuestras retinas tienen la capacidad de discernir 5 estímulos correspondientes a esta medida.

Figura 3.2. Medidas del mínimo visible



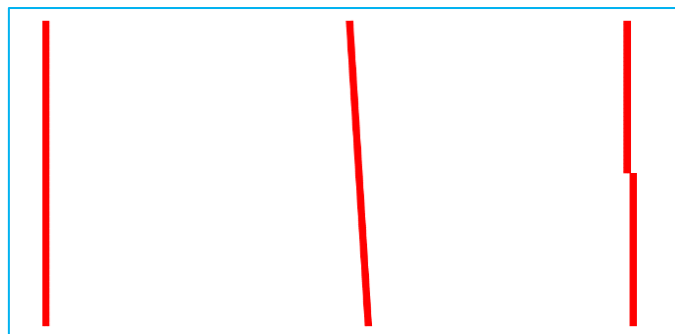
- *Mínimo separable*: o *mínimo resoluble* o *agudeza visual ordinaria*, este tiene que ver con la menor interrupción entre dos puntos que pueda ser distinguida por el ojo humano, el valor está comprendido entre 30 y 60 segundos de arco.

Figura 3.3



Nota. Mínimo separable, medidas comprendidas entre 30'' – 60'' de arco para poder ser captadas como separadas.

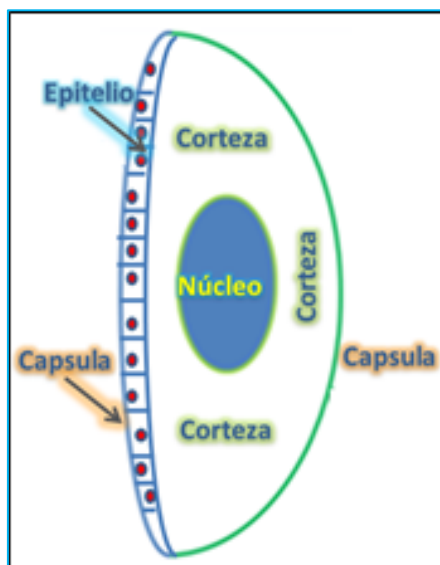
- Poder de alineamiento: o llamado la *Agudeza de Vernier*, este tiene que ver con la capacidad que tiene el sistema visual para detectar pequeñas diferencias de localización.

Figura 3.4.

Nota. Poder de alineamiento. La capacidad del sistema visual de identificar la alineación o desplazamiento de imágenes en un campo uniforme.

Acomodación

Reflejo parasimpático que modifica el estado refractivo del sistema visual con el fin de focalizar los rayos provenientes de imágenes borrosas, en la retina. Este proceso se da por el cambio de la curvatura de las caras del Cristalino que aumenta el poder dióptrico total del Globo Ocular para llevar dichos estímulos borrosos hacia la retina. Como nos cuenta Glasser e Kaufman, en el ojo primate esta acomodación está mediada por la contracción del músculo ciliar, por la liberación de tensión de reposo de las zónulas del ecuador del Cristalino y por el aumento de curvatura del Cristalino, resultado de las fuerzas ejercidas en su Capsula (Kaufman & Alm, 2004).

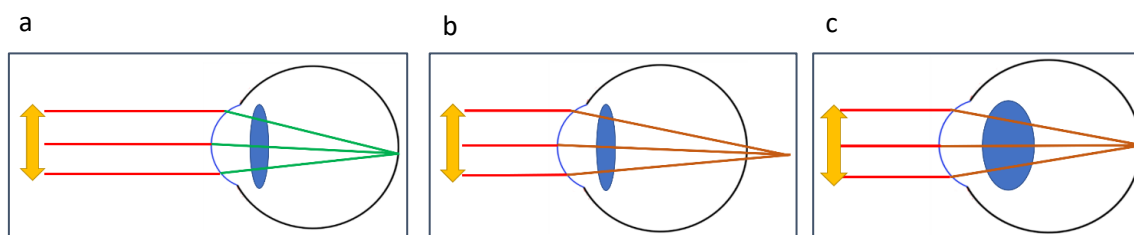
Figura 3.5. Partes del Cristalino.

Por otro lado, la acomodación se realiza simultáneamente con la miosis y la convergencia, esto compone la denominada *Sincinesis de la acomodación – convergencia*, que es la simultaneidad de los tres fenómenos, como consecuencia de la respuesta motora y sensitiva del III Nervio craneano (Gil del Rio, 1985).

Es de resaltar que, dependiendo del estímulo, se van a activar determinados componentes de la acomodación, dentro de estos tenemos:

- **Acomodación Tónica:** Es la tonicidad permanente que tienen las fibras del Músculo Ciliar, el grado de acomodación excedente y que no se relaja; dependiendo el autor, puede estar entre 1,00D hasta 3,00D. No hay un estímulo específico para activarla, porque está presente todo el tiempo, pero lo que sí podemos hacer es relajarla, que será además la estrategia para evaluarla, para esto se deben acudir al uso de fármacos cicloplégicos, es decir que paralizan parcialmente el sistema ciliar, nos dan un indicio de su estado y calidad. Por otro lado, también podemos ver una relajación total o parcial en las parálisis del nervio Oculomotor que será una manifestación de una alteración neurológica (Glasser e Kaufman, 2004).
- **Acomodación refleja:** Es la acomodación que se activa para aclarar una imagen borrosa que impacta sobre la retina, tanto para visión próxima como lejana. Se da independiente de la condición refractiva que tenga el sistema visual y dependiendo de la calidad de la imagen, del lugar de focalización y de la capacidad acomodativa esta imagen será o no aclarada (Martín & Vecilla, 2010). El test que evalúa este componente es el test de amplitud de acomodación de Jackson y Sheard, este último que si bien no mide elementos exclusivamente reflejos si permite identificar parte del componente.
- **Acomodación Proximal:** Es la acomodación que se activa cuando tenemos un objeto próximo al sistema visual, el hecho de tener un objeto más próximo hará que los rayos emergentes produzcan un efecto de divergencia de rayos, esto activará la acomodación convergiendo los rayos y focalizándolos, si es posible, sobre la retina. Los test que evalúan este componente son el test de Donders, el cual estimula la acomodación con la aproximación; y el test de Sheard que si bien no es puramente acomodativo proximal, sí permite activar parte del componente.

Figura 3.6.



Nota. a. Focalización de una imagen en la retina. b. Objeto próximo al ojo con focalización atrás de la retina. c. Cristalino acomodando para producir convergencia de los rayos y focalizar en retina.

- **Acomodación por convergencia:** Es la acomodación que se activa por influencia de la convergencia y viceversa, según Hugonnier y apoyado por varios autores, el valor considerado normal es de 1:6, lo que quiere decir que por cada 1D de acomodación el sistema tendrá una convergencia de 6 prismas (Hugonnier, 1977). Los métodos para evaluar este componente son: *la Heteroforia*, el *método de disparidad de fijación* y el más usado en la prác-

tica, el método del *Gradiente*; en el cual, anteponiendo un lente negativo (-1,00D) se observa la cantidad de convergencia que se ejerce, analizando el cambio del estado fórico con y sin lente (Prieto & Souza, 2000).

Paralelamente, la acomodación tiene una capacidad máxima de activación aproximadamente de 19D -16D en los primeros años de vida. Estos valores van decreciendo según la edad del sujeto y las condiciones del Cristalino y del Músculo Ciliar. Diferentes autores establecen que la mínima acomodación podría llegar a valores de alrededor de 0,50D a los 60 años (Borish, 2006. Duane, 1908. Pickell, 1996. Sheiman, 2014).

Tabla 3.1. Valores de amplitud de acomodación, según autor.

Parámetro Edad	Donders	Duane	Jackson (Binocular)	Sheard	Turner	Sheiman
10	19.70	13.50	14.00		13.00	18 – 1/3 de la edad
15	16.00	12.50	12.00	11.00	10.60	
20	12.70	11.50	10.00	9.00	9.50	
25	10.40	10.50	9.00	7.50	7.90	
30	8.20	8.90	8.00	6.50	6.00	
35	6.30	7.30	7.00	5.00	5.75	
40	5.00	5.90	5.50	3.75	4.40	
45	3.80	3.70	4.00		2.50	
50	2.60	2.00	2.50		1.60	
55	1.80	1.30	1.25		1.10	
60	1.00	1.00	0.50		0.70	

Visión del color

Es una habilidad que permite enriquecer la experiencia visual, en donde se discrimina el estímulo luminoso, en función de la longitud de onda; el ojo humano puede percibir alrededor de 7 millones de gradaciones de color.

La percepción del color depende de las longitudes de onda de la luz ambiente y del sofisticado proceso de abstracción; está ligada a factores relacionados con el sistema de conos y del procesamiento cerebral, responsables de la interpretación que hacemos del color una vez observamos los objetos (Kandel et al, 2000). Aquí la retina se considera el punto de contacto entre la luz y el sistema nervioso, es la primera fase de la percepción cromática, porque la luz debe convertirse en una señal neuroquímica de las células fotorreceptoras (Conos) que están concentradas en la Fovea para posteriormente a través de la vía visual ser interpretadas como color (Kaufman, 2004).

Este proceso se da porque el ojo es sensible a longitudes de onda que van desde 400 a 700nm, en el rango el color cambia gradualmente de azul a verde y después a rojo, acto posible por la denominada trivarianza, que es el resultado de la absorción de luz por el pigmento de los

tres tipos de conos (conos rojos, conos verdes y conos azules) en donde según el espectro de absorción, que va desde 419 nm para conos azules, de 531 de los verdes nm y 559 nm de los rojos, la luz es absorbida y solapada entre sí, para producir la percepción de la mayor cantidad de colores del espectro (Kandel et al, 2000).

Por otro lado, tenemos al *Sistema de procesamiento cerebral*: que es cuando la información de color y brillo se procesa por vías separadas cerebralmente, una representa la Retina y la otra el Cuerpo Geniculado Lateral (CGL). Aquí, varias fibras encargadas de la visión cromática convergen en el Córtex occipital en el área 17 de Brodmann, algunas partes reciben la información de uno o varios tipos de conos y dependiendo del estímulo, hay zonas que responden mejor a contrastes rojo – verde o amarillo – azul dando como resultado la visión de los diferentes colores. Es interesante el hecho de que asumimos implícitamente que todos los ojos perciben de la misma forma el color, sustentado en el hecho de que las células actúan de forma similar en todos los sistemas visuales, y si bien, esto es casi una certeza no es del todo cierto. Por ejemplo, se considera que alrededor del 92% de los hombres y el 99% de las mujeres poseen una percepción de los colores que es muy parecida entre ellos; pero cerca del 8% de hombres y el 0.4% de mujeres tienen una visión cromática distinta o anómala (Artigas et al, 1995).

La discriminación visual requiere de las características que acabamos de ver, como la agudeza visual y la visión del color que depende también de la forma en que esta es procesada a nivel neuronal y según la posición del Globo Ocular. Es por esto fundamental tener presente la dirección visual oculocéntrica y egocéntrica, para entender desde lo anatómico, cómo se posicionan nuestro sistema para permitir el fenómeno visual.

Dirección visual oculocéntrica y egocéntrica

Dirección Visual Oculocéntrica (DVO)

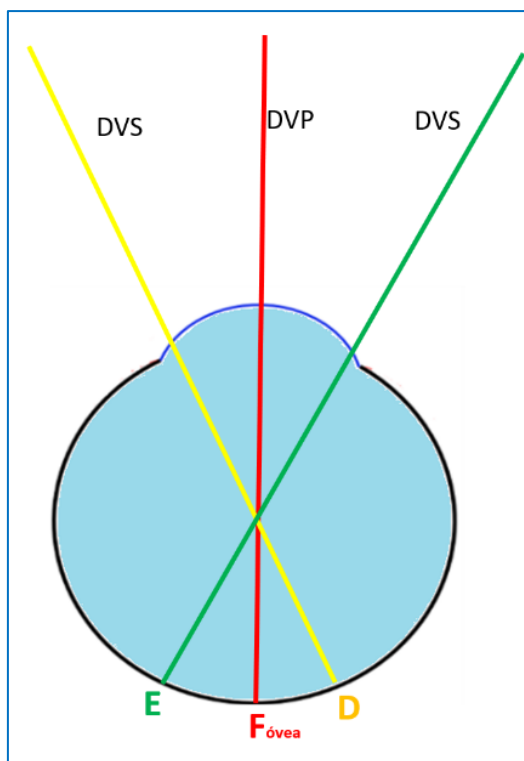
El procesamiento de la visión inicia en la retina y tiene el objeto terminar en el Córtex occipital. En este proceso tenemos actos cerebrales que permiten la percepción, no solo de una imagen centrada sino también del espacio exterior llamado Campo Visual (CV) que tiene una proyección y localización específica. Se podría traducir en la capacidad para saber de dónde proviene el estímulo luminoso que va a impactar dentro del Globo Ocular y lo llamaremos *Dirección visual Oculocéntrica* (Perea, 2008).

Según Hering cada área retiniana tiene una propia *dirección de proyección*, si el estímulo incide en una de ellas, se ubica en una orientación específica con relación al ojo; en cambio, si incide en otra zona será proyectada al exterior con una distinta, pero conservando una relación con la primera. La proyección espacial que tienen los diferentes puntos estimulados se llama *proyección espacial* y dependen de las regiones estimuladas, que incluye también a los fenómenos complejos como postimágenes, fosfenos, fenómenos entópticos, entre otros (Perea, 2008).

Cuando fijamos un objeto que está localizado en el campo visual, este estimula la Fóvea, que es el área central, privilegiada por tener la mayor cantidad de células fotorreceptoras Conos, esta

presenta una *Dirección visual principal (DVP)* que proyecta subjetivamente “derecho al frente”; siendo el referente de las demás proyecciones retinianas que serán las *Direcciones visuales secundarias (DVS)*. Con esto, cuando una imagen estimula un espacio diferente de Fóvea tendrá una proyección oculocéntrica alrededor de esa *dirección visual principal*. (Perea, 2008).

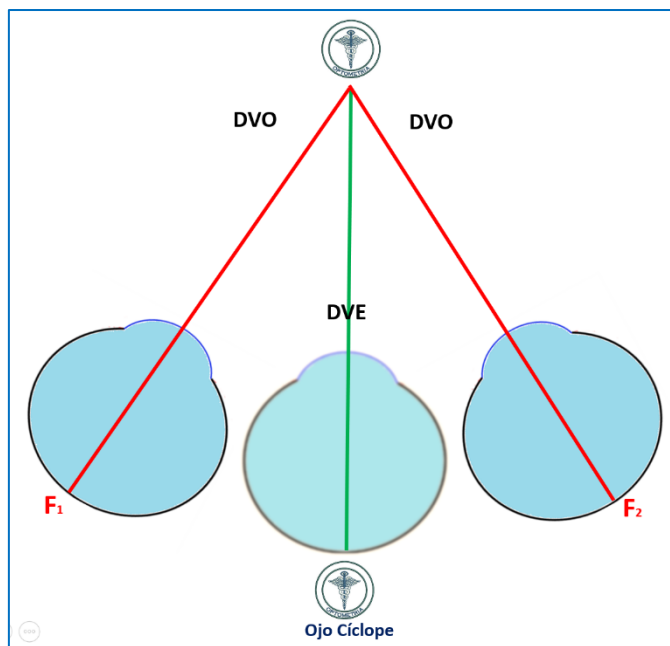
Figura 3.7. *Dirección visual principal y secundaria.*



Dirección Visual Egocéntrica (DVE)

En sistemas visuales considerados normales los individuos tienen una condición de biocularidad, es decir que pueden ver por ambos ojos, esto sin mayores contratiempos llevará consigo la binocularidad, que es unir esas imágenes en el Córtex Visual para percibir una imagen única (haplopía) en tercera dimensión (estereopsis) (Perea, 2008).

Como vimos anteriormente, en situaciones monoculares se conoce la dirección oculocéntrica que se modifica en condiciones de visión binocular. En situaciones binoculares, gracias a la distancia y la profundidad, podemos ubicar las imágenes en el campo visual por medio de los *ejes de proyección* que forma cada uno de los ojos, esto es llamado como *egocentro*, *ojo cíclope*, *ojo doble o binóculo*, que no es más que el discernimiento centrado de una imagen que llega a las dos retinas, a pesar de que cada una tiene su propia proyección. Entonces, la percepción no se hará de acuerdo a la dirección oculocéntrica sino detrás de un teórico ojo central localizado entre cada una de las direcciones visuales egocéntricas () (Perea, 2008. Von Norden & Campos, 2002).

Figura 3.8. *Dirección visual Oculocéntrica monocular y la Dirección Visual Egocéntrica.*

Visión Binocular (VB)

La visión Binocular (VB) es la respuesta más fina del sistema, en la cual las imágenes que tienen una Dirección Visual Oculocéntrica tienen la capacidad de fusionarse haciendo posible la Dirección Visual Egocéntrica, en la que esas imágenes podrán ser vistas fusionadas únicas y con estereopsis.

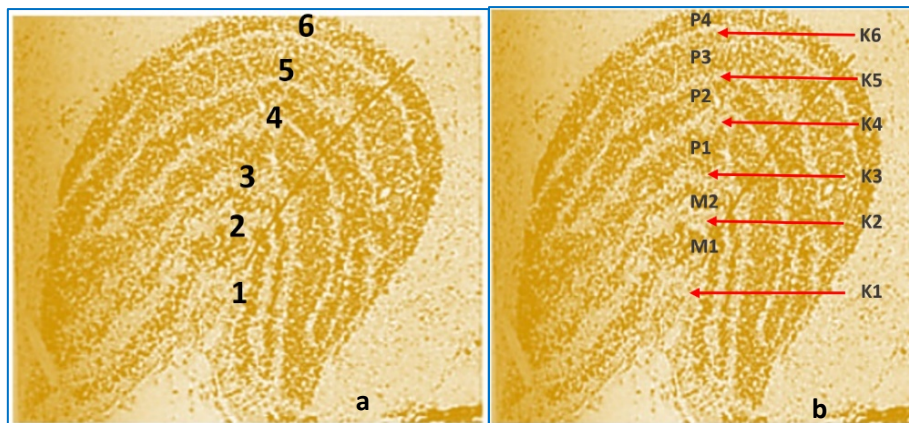
Como vimos en el capítulo 1, el proceso de la visión binocular se da rápidamente en la vida posnatal, es maduro alrededor de los 2 años de vida y totalmente perfeccionado a los 4 años. Está ligado íntimamente al desarrollo de la fijación y el perfeccionamiento de la motilidad ocular, en donde, si se presenta alguna modificación de dicho desarrollo, no será posible. Este desarrollo depende del crecimiento y formación de estructuras celularmente complejas como la retina y en especial el Cuerpo Geniculado Lateral, este último es totalmente inmaduro en el nacimiento y gracias a la estimulación, experimenta una formación y diferenciación de capas que son las responsables de las funciones de la visión binocular (Ciuffreda, 1991).

Cuerpo Geniculado Lateral (CGL)

Es uno de los núcleos talámicos, tiene forma de cono y es la primera estación sináptica proveniente de la retina, a partir de él las fibras nerviosas se dirigen al Córtex Visual Occipital que es donde la información transportada se hace perceptible. En el modelo tradicional de CGL este cuenta con una organización de 6 capas que se aglutinan con visible diferenciación, las capas más grandes se disponen sobre las más pequeñas y se clasifican en dos grupos, *las capas*

Magnocelulares (M) correspondientes a las capas 1 y 2 y *las capas Parvocelulares (P)* que son las capas 3,4,5 y 6. Debajo de cada una de estas capas está las *capas Koniocelulares (K)* (Remington, 2005).

Figura 3.9. Clasificación del CGL.



Nota. a. Capas Parvo y Magnocelulares. b. División Magno, parvo y Koniocelular.

En cada capa hay células del mismo tipo y éstas se dividen en tres (Remington, 2005):

- *Magnocelular*: Células de gran tamaño, estas procesan información del campo visual periférico, movimiento, formas, sin detalle, sin máxima agudeza visual y sin color, básicamente la visión que envuelve a los Bastones.
- *Parvocelulares*: Son células de tamaño pequeño, están encargadas de la visión del detalle, campo visual central, percepción de texturas, imágenes estáticas y con color. Todo lo relacionado con los Conos rojos y verdes.
- *Koniocelulares*: Células con cuerpos celulares muy pequeños, procesan información sobre la visión de ondas cortas, del contraste y lo relacionado con los Conos azules.

El CGL no se encarga solamente de recibir y repetir información proveniente de la retina, recibe además información de centros corticales y subcorticales del Córtex Visual y también regular el flujo de la información asegurando que sea enviada correctamente a ese Córtex (Remington, 2005).

Organización de la Corteza Visual

Una vez la información es tratada por los centros de sinapsis y procesamiento (Retina y CGL), se desplaza dentro de la vía visual por las Cintillas y Radiaciones ópticas, con el objeto de ser transportadas al punto de interpretación que es la Corteza Visual.

Es de recordar que todo el Córtex Cerebral está dividido en más de 50 zonas (Tabla 3.2), llamadas las áreas de Brodmann, cada una con función específica que involucra funciones motoras y sensoriales, a pesar de que en algunas no se han definido claramente su función y/o características (Kandel et al, 2000).

Tabla 3.2. Áreas de Brodmann.

ÁREA	NOMBRE	LOCALIZACIÓN	FUNCIÓN
1, 2 e 3	- Somato sensorial primaria - Áreas Somestésicas o Áreas da Sensibilidad General.	Lóbulo parietal.	Se encarga de recibir todas las sensaciones táctiles articulares y musculares del lado contralateral del cuerpo
4	Córtex motor primario.	Lóbulo Fronta.	Controla movimientos voluntarios de la parte contralateral del cuerpo
5 e 7	Área sensitiva secundaria Área Psicosomestésica.	Lóbulo parietal.	Tacto, sentido de posición, presión y dolor. Movimientos voluntarios dirigidos para el destino en relación con la integración de los estímulos visuales.
6	-Área Premotora -Área Motora Suplementaria o Área Motora Extrapiramidal.	Lóbulo Frontal	-Controla la voluntad de los movimientos - Organiza los movimientos que tienen que ver con funciones táctiles, auditivas y visuales.
8		Córtex frontal	Movimientos oculares.
9, 10, 11 e 12	Córtex asociativo Prefrontal.	Córtex pre frontal	Pensamiento, voluntad y razonamiento.
13 e 15 (15 Decisiones)	Circunvoluciones Insulares		Emoción y paladar.
14, 15, 16,			
17	Córtex visual primario.	Córtex Occipital	Visión, percepción simultánea.
18 e 19	Córtex visual Secundario e terciario.	Córtex Occipital	Visión binocular, movimientos oculares de seguimiento.
20 e 21	Neocórtex temporal.	Córtex temporal	Conecta con áreas visuales analiza información visual.
22 Wernicke (+30 40)	Auditiva secundaria.	Córtex temporal	Comprensión del lenguaje.
25	Córtex subgenual.		
26	Área de Ectosplenial.		
27	Área de piriforme.		Cognición.
31	área posterior dorsal 31 del cingulado	Circunvolución parietal	

32 e 33	Área dorso-anterior del cíngulo.	Lóbulo temporal	-Controla estímulos que se muestran de arriba para bajo. - Funciona cuando se precisa esfuerzo adicional para la resolución de problemas. -Emociones.
34	Corteza de Entorrinal. Cortes Olfatorio límbico.	Hipocampo	Memoria, olfato, emociones.
36	Córtex occipital e temporal.	Occipitotemporal	Asociación.
37, 38	Córtex occipital e temporal.	Occipitotemporal	Asociación, percepción, lectura.
39 e 40	Área de Wernicke.	Lóbulo temporal izquierdo	Se encarga de la comprensión de palabras y construcción de discursos.
41 e 42	Córtex auditivo primario y secundario.	Córtex temporal	Detecta los cambios de frecuencias y localización sonora. Detecta susurros y sonidos fuertes.
43	Área del gusto.	División del área temporal y parietal	Sensación de equilibrio. Gusto y paladar.
44 e 45	Área de Broca – Lenguaje.	Área Frontal inferior	Comprensión del lenguaje escrito y hablado.
46	Áreas de asociación.	Córtex frontal	Pensamiento
47	Áreas de asociación.	Córtex frontal	Conecta con área olfativa y vestibular.
48		Temporal	
49 - 51		Temporal	

Una de las divisiones corresponde al Córtex visual ubicado en las áreas 17,18 y 19 de Brodmann, más específicamente en el Córtex Occipital. Clasificado en 3 subáreas: *Córtex Visual Primario*, *Córtex Secundario* y *Córtex Terciario*, cada una encargada de funciones específicas.

Córtex Visual Primario (CVP): área 17 de Brodmann, o más recientemente denominada V1, está localizada en la superficie medial del Lóbulo Occipital, también es llamada estriada porque tiene una pequeña franja mielinizada que delinea los límites de la Corteza primaria dentro de la cisura Calcarina. Tiene un grosor de 2mm y está organizada en capas horizontales y verticales que representan las columnas (Remington, 2005). Las columnas sensorialmente están formadas alrededor de los 6 meses de vida, de ellas depende en gran parte el desarrollo visual y en caso de presentarse alguna alteración que impida su estímulo, su perfeccionamiento podría verse interrumpido (AAO, 2017). Esta región se encarga del procesamiento de la Percepción Simultánea, donde las imágenes captadas que han sido procesadas por la vía con anterioridad por cada ojo son vistas sincrónicamente.

Córtex visual secundario y terciario: o área 18 y 19 de Brodmann o también llamada extraestriada, se activa con determinados estímulos en los que prima la forma y el color, por eso están ligados

íntimamente con la percepción de las propiedades de los elementos. Recibe aferencias neuronales del área 17, aunque algunas pocas provienen del CGL y de la zona pulvinar. Se destaca que como lo señaló Zeik, mencionado por Kaufman, el área 18 y 19 separa la información visual en un primer momento para ser analizada posteriormente por otras regiones cerebrales, en donde además de las propiedades mencionadas, se incluye la visión espacial. Se les atribuye la fusión y estereopsis, y el control de movimientos binoculares como los de seguimiento (Kaufman & Alm, 2000).

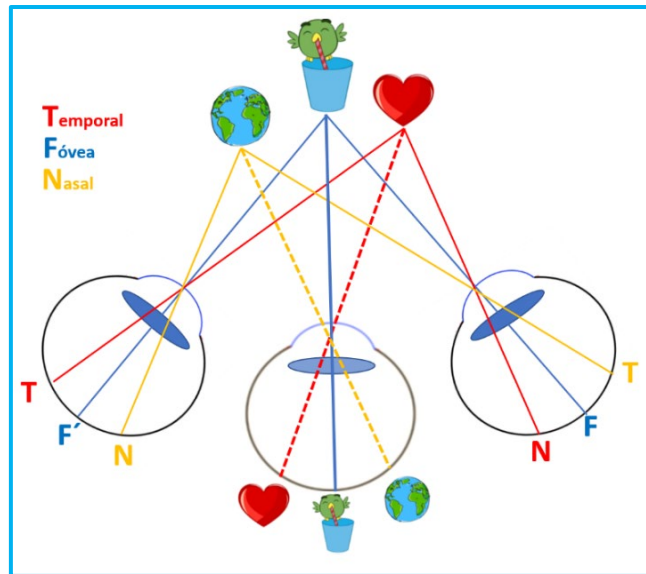
De esta región depende la correspondencia sensorial, que es la capacidad que tiene el sistema visual cortical de fusionar (unir las imágenes que entran por cada ojo) a través de la correspondencia que existe entre ambas retinas. Esto es posible porque las imágenes estimulan regiones similares que se responden como similares en todas las estaciones dentro de la vía visual, es decir el CGL y el Córtex, en donde se reconocen esos puntos como similares y correspondientes (Perea, 2008).

Correspondencia sensorial (CS)

La correspondencia sensorial se define como el procesamiento de la información visual de un ojo con relación al otro, debe ser compatible entre las Retinas, fenómeno conocido como la *Correspondencia Retinal*. Aquí es fundamental que cada punto de un ojo se corresponda con cada punto del ojo contralateral, esto se da cuando en cada ojo se forma una imagen de un objeto, en donde las dos imágenes impactan sobre espacios retinales correspondientes, es decir, que desde siempre han sido estimuladas al mismo tiempo, aquí los objetos se fusionan y los observamos como únicos. El inconveniente está si las imágenes de los objetos caen sobre regiones que no son cotidianamente estimulados al mismo tiempo, con esto los objetos no podrán fusionarse y se percibirán con diplopía, es decir dobles (Von Noorden, 2000).

Así mismo, las áreas retinales correspondientes, proyectaran al exterior según la misma dirección visual. Cuando dos imágenes inciden en puntos no correspondientes, se dice que existe *Disparidad retiniana o binocular*; si esa disparidad es grande, las imágenes no podrán ser unidas, pero si es pequeña el sistema las integrará y será posible la estereopsis. Al conjunto de Fóvea y puntos alrededor de esta con correspondencia y cierta disparidad los llamaremos *Campos Receptivos* (Alais & Blake, 2005).

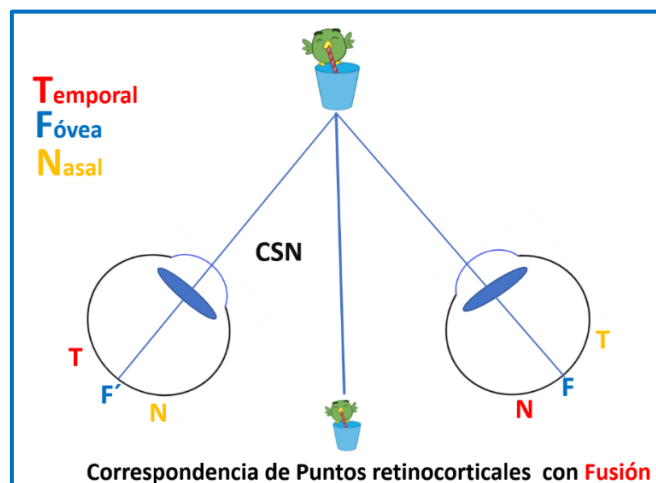
Este proceso constante desde el nacimiento, permitirá que el sistema visual aprenda a fusionar las imágenes con regiones específicas, lo esperado es que a partir de las Fóveas se dé el punto de partida de la correspondencia, es decir, que las Fóveas se correspondan entre ellas y a partir de allí los puntos periféricos se correspondan con los periféricos de ambos ojos. Por ejemplo, esperamos que la retina nasal de un ojo se corresponda con la temporal del otro ojo y viceversa, esto hará que, al ser estimuladas las imágenes, se proyecten fusionadas en algún lugar del campo visual. Esto se reflejará en la Corteza de la misma forma en que lo hace la retina, formando la *Correspondencia Retino-cortical*, que no es más que la forma en que el Córtex aprende a fusionar con los sitios o no correspondientes con sus respectivas disparidades, a todo este proceso que inicia en la vía visual y termina en el cerebro para interpretarlo lo conocemos como *Correspondencia Sensorial* (Alais & Blake, 2005).

Figura 3.10. Puntos retinales correspondientes.

La correspondencia sensorial no es congénita, se desarrolla principalmente durante los dos primeros años de vida (Periodo Crítico) con la estimulación simultánea de los campos receptivos de cada ojo, esto permitirá que el sistema Retino-cortical forme la correspondencia, donde el sistema visual la aprenderá y la perfeccionará. Decimos que si en este proceso las fóveas se corresponden, estaremos frente a una *Correspondencia Sensorial Normal*, pero si no es así, es porque en el desarrollo visual los estímulos no fueron simultáneos en ambos ojos, la causa más frecuente es una desviación ocular permanente en el periodo crítico, la fijación no es central en uno de los ojos y no habrá correspondencia retiniana; a esto le llamamos *Estrabismo* y es lo que dará paso a la *Correspondencia Sensorial anómala* (Anderson et al, 2002).

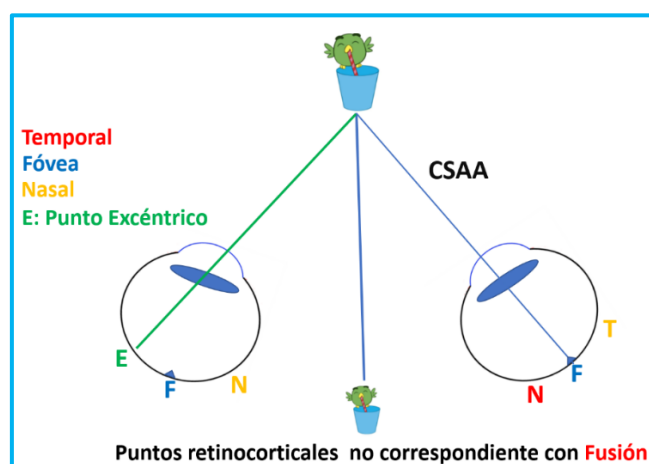
Es fundamental definir el tipo de correspondencia que tiene el sistema visual para saber en cuáles condiciones se encuentra, por ello debemos ubicarla en uno de los diferentes tipos, que son:

- *Correspondencia Sensorial normal (CSN)*: Es cuando se corresponden sensorialmente las Fóvea de ambos ojos, las retinas temporales de un ojo con las nasales del otro y viceversa; estos puntos dispares y no dispares generan la fusión y estereopsis.

Figura 3.11. Correspondencia Sensorial Normal.

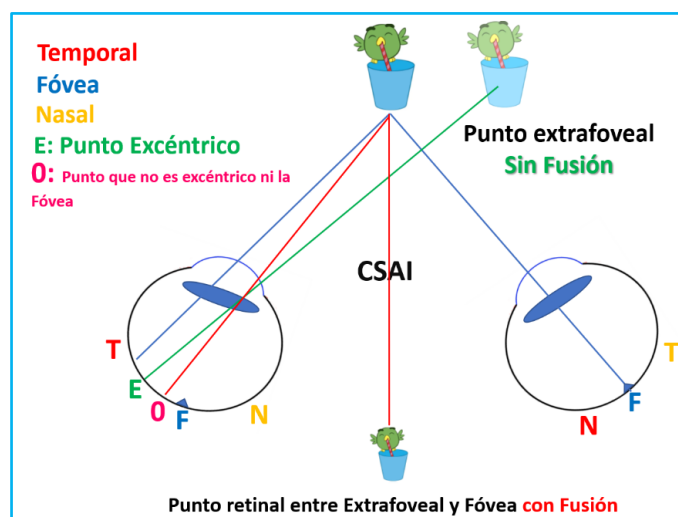
- **Correspondencia Sensorial Anómala (CSA):** Es cuando la Fóvea de un ojo no se corresponde con la Fóvea del otro ojo sino con un punto extrafoveal (la retina con fijación excéntrica), en este se puede o no conseguir fusión y estereopsis, dependiendo del grado de disparidad. Puede ser de dos tipos, la *Armónica* e *Inarmónica*.
- **Correspondencia Sensorial Anómala Armónica (CSAA):** Aquí hay correspondencia entre la Fóvea de un ojo y el punto extrafoveal de fijación del otro ojo, que, si bien no son correspondientes, la disparidad que generan permite algún grado de fusión y estereopsis, la causa más común de esta situación es el *Microestrabismo*, que es un estrabismo con menos de 8▲ de ángulo de desviación y que tiene fijación excéntrica.

Figura 3.12. Correspondencia Sensorial Anómala Armónica.



- **Correspondencia Sensorial Anómala Inarmónica (CSAI):** A diferencia de la anterior, en esta no hay correspondencia entre la Fovea de un ojo y el punto extrafoveal del otro ojo, sino con otra región que está entre el trayecto de Fovea y el punto extrafoveal del ojo que tiene estrabismo. En este lugar dependiendo de la localización y el grado de disparidad que se genera, podría o no haber fusión y/o estereopsis. Es una condición común en los estrabismos monoculares congénitos.

Figura 3.13. Correspondencia Sensorial Anómala Inarmónica.

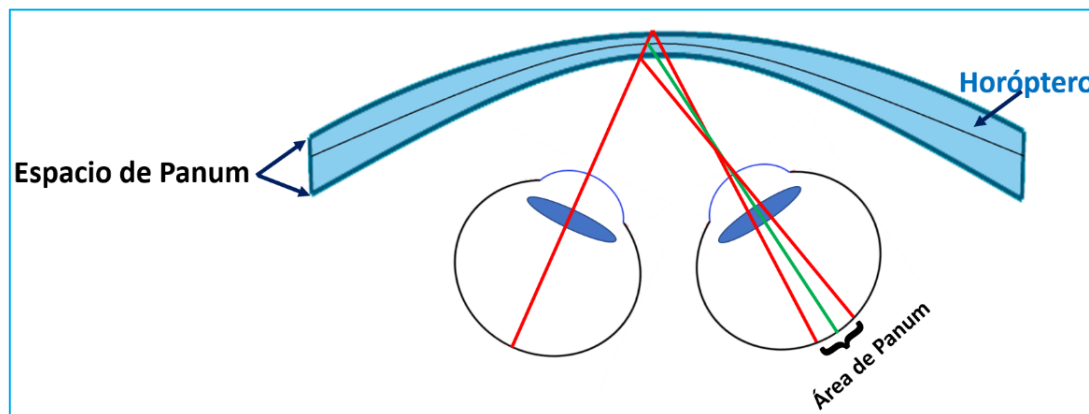


Horóptero y Área de Panum

El *Horóptero* es el conjunto de puntos del espacio donde las imágenes inciden al mismo tiempo sobre lugares retinianos correspondientes y que al ser estimulados producen *haplopía*, es decir visión única. Es un fenómeno binocular, según trabajos de Müller y Vieth, es representado por una circunferencia horizontal imaginaria, donde todos los puntos que pasan por la fijación y los centros ópticos de ambos ojos, tendrían la capacidad de activar campos retinales correspondientes, lo que implica esa haplopía; es un área dinámica y se modifica constantemente de acuerdo la distancia a la cual se encuentre el objeto fijado (Perea, 2008).

Por otro lado, tenemos al *Área de Panum*, expresada en segundos de arco y ampliada sagitalmente por delante y por detrás del Horóptero, tiene la capacidad de estimular puntos retinales en donde se mantiene la fusión, debido a que la correspondencia no se da exclusivamente en un sitio de la retina de un ojo con relación a la misma en el otro ojo y sí en una región, es decir un punto de un ojo tiene correspondencia con un espacio mayor del otro ojo y viceversa, esto da paso a la fusión y será la principal responsable de la visión de profundidad (Estereopsis). Entonces, al estimular ambas retinas por un objeto, otro que esté situado próximo o por delante o por detrás, incidirá en un campo que estimulará puntos que, si bien no son los mismos, sí tendrán algún grado de correspondencia y le alcanzará para mantener la fusión. Es por ello que la unión de las imágenes puede darse pese a que hay lugares no correspondientes estimulados, siempre y cuando no sobrepasen una desviación de hasta 20 minutos de arco, que es la máxima distancia del área de Panum (Noorden, 2002).

Figura 3.14. Representación del Horóptero y Área de Panum.

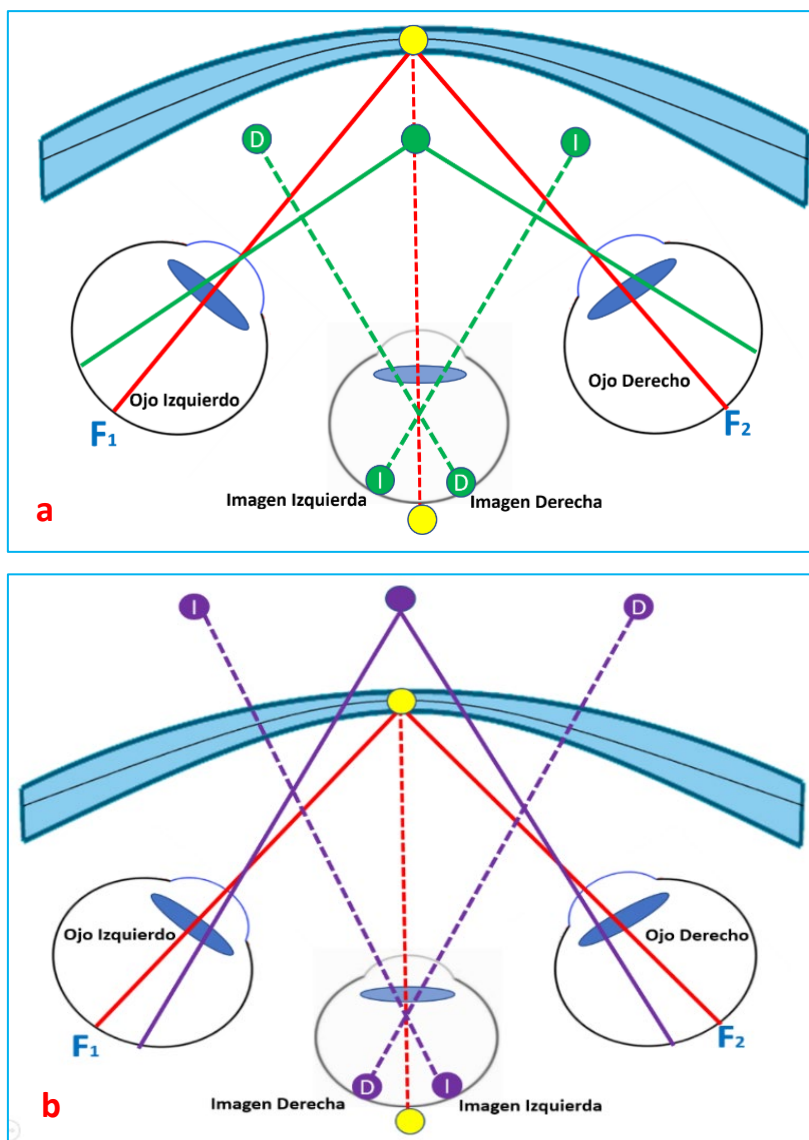


Diplopía fisiológica

A partir de esa área de Panum, podemos decir que las imágenes situadas en una posición más cerca o más lejos del punto de fijación, no incidirá sobre puntos retinales correspondientes, esto dará como resultado una diplopía, que no es percibida por el sujeto; a este fenómeno le llamaremos *Diplopía Fisiológica* (Puell, 2014).

La utilidad de la diplopía fisiológica, radica en que permite localizar los objetos en el espacio, dado a que es uno de los elementos de la percepción y la visión binocular. Por ejemplo, si el objeto está ubicado por delante del área de Panum, este tendrá *diplopía cruzada*, es decir la imagen doble se producirá del lado contrario del ojo que la genera, en esta situación la imagen se percibirá más cercana. Por el contrario, si el objeto está posterior, la diplopía será *Homónima* y se observaran las imágenes más alejadas (Perea, 2008).

Figura 3.15. Diplopía Fisiológica.



Nota. a. Diplopía Cruzada. b. Diplopía Homónima

Fusión y Estereopsis

La *fusión* es la capacidad que tiene el sistema visual de percibir las imágenes únicas que entran por cada ojo, imágenes que deben ser muy parecidas en forma, color, tamaño y nitidez, que al estimular regiones retinales correspondientes se unen en el Córtex visual. Se destaca por

estar presente hacia el segundo mes de vida, permanente a los 6 meses y totalmente desarrollada a los cuatro años, periodo en el cual se producen además todas las funciones mono y binoculares que permiten la máxima capacidad visual y perceptual, y que ante alguna perturbación visual podría interferir en el desarrollo, a este periodo (4 años) lo llamamos *periodo crítico* (Carulla, 2008).

Por otro lado, la visión binocular tiene su máxima expresión cuando las imágenes observadas por cada uno de los ojos se fusionan y son percibidas en tercera dimensión, este mecanismo es principalmente cortical y adelantado en las áreas 18 y 19 de Brodmann, depende de la calidad visual, de la integridad anatómica y funcional de las vías sensitivas, a este proceso lo llamamos *Estereopsis* (Noorden, 2002).

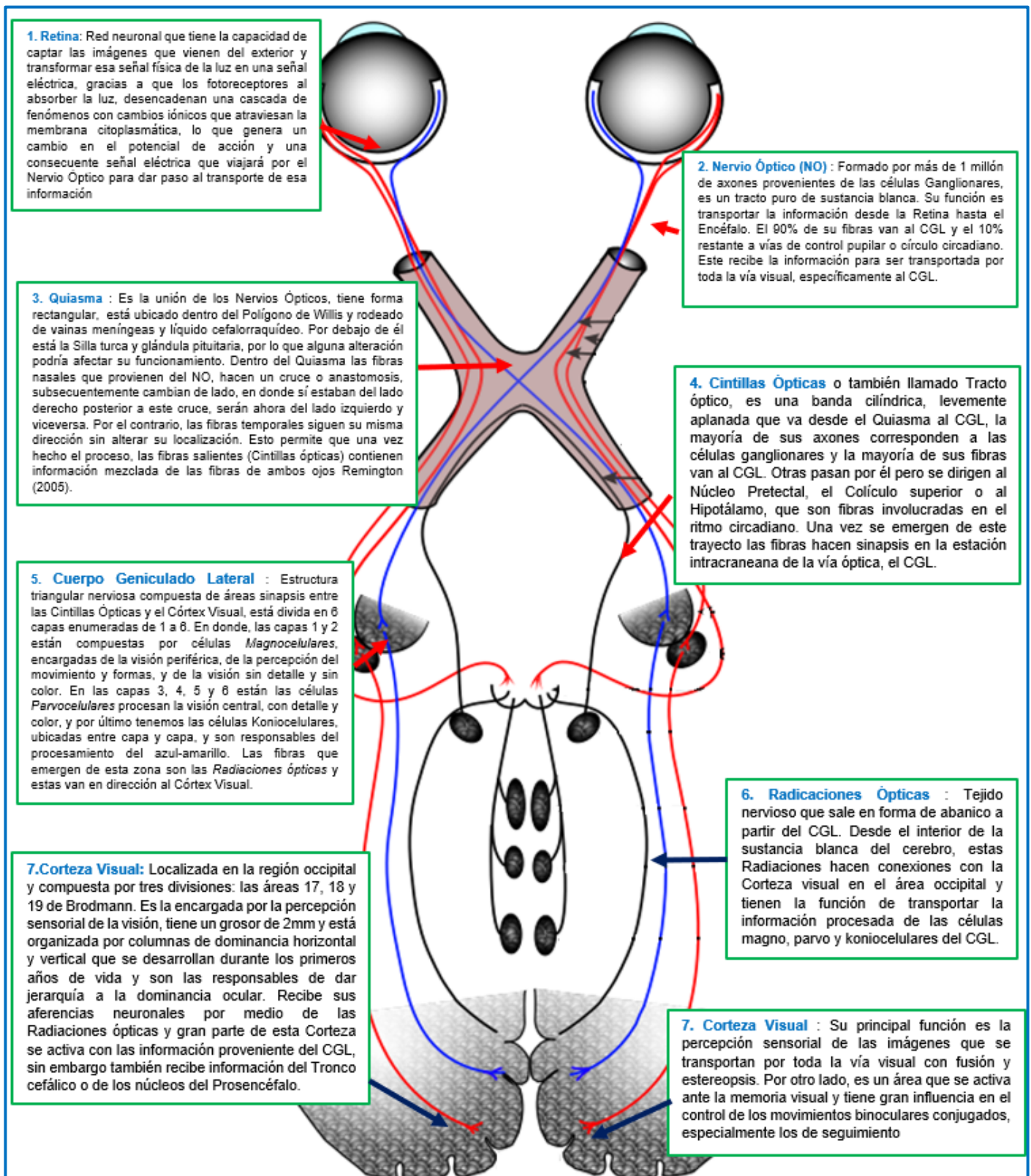
Esos se llevan a cabo cuando al aparato de la visión llegan estímulos que finalmente se verán en profundidad y sentido de relieve, estímulos que llegan a cada ojo al mismo tiempo, pero que cuentan con perspectivas y ángulos visuales diferentes, porque los Globos Oculares están separados horizontal, gracias a esto vemos las imágenes geométricamente distintas y al no superponerse se genera la *Disparidad o paralaje binocular*, resultado de esa localización facial de los ojos. Aquí la superposición simple y limpia dará como resultado una imagen borrosa, pero el procesamiento nervioso de esta disparidad hará que las imágenes se ubiquen en el área de Panum, en este punto el cerebro es capaz de interpretar esa falsa similitud en las imágenes como sensación de relieve al ser la base binocular de las distancias y la percepción egocéntrica del cuerpo. Esto traerá consigo, la ubicación en el espacio, posible porque a través de la vía visual el sistema puede captar, transportar, procesar y transformar la información para que al final el sistema sensorial produzca las imágenes fusionadas y con estereopsis, siendo imprescindible la integridad de estas vías como factor que garantiza parte del proceso (Perea, 2008).

Vías Visuales

Las vías visuales son el sistema neuronal que procesa funciones sensoriales responsables de la binocularidad, ellas inician en la Retina, encargada de transformar estímulos luminosos en señales eléctricas que serán procesados en el Córtex occipital. Esta información posteriormente será desplazada por el conjunto de nervios y conexiones neuronales cerebrales que incluyen al Nervio óptico, Cintillas ópticas, Cuerpo Geniculado Lateral, Radiaciones ópticas y Córtex occipital; este último que será la meta sensorial porque la visión depende directamente de él, allí como lo vimos anteriormente se procesa la información para ser percibida con Percepción simultánea, fusión y estereopsis (Kaufman & Alm, 2005).

Las partes de la Vía visual son (Kaufman & Alm, 2005) (Remington, 2005):

Figura 13.16. Vía Visual.



Nota. Fuente: Wikipedia

Campo receptivo

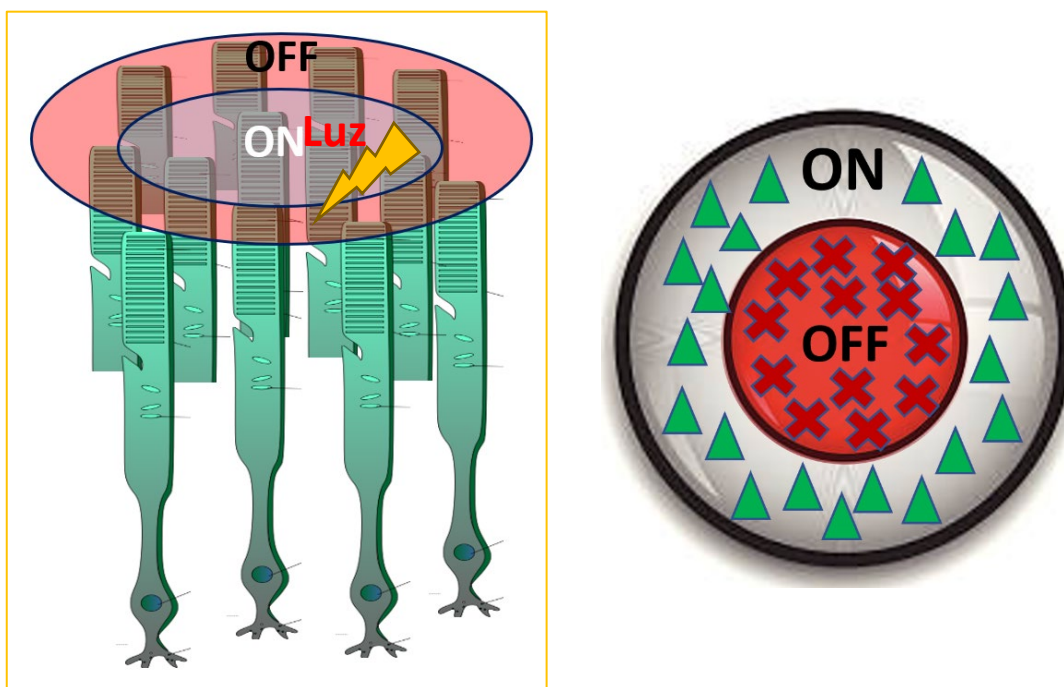
El campo receptivo o receptor (CR) de una neurona se define como la porción del espacio en la cual el estímulo que llega a ella interfiere en su respuesta. En la función visual, los campos receptivos están en la retina y esto implica al área del campo visual de los fotorreceptores que hace que las células ganglionares a través de las células bipolares, se activen o inhiban cuando estas se estimulan. En palabras de Keffer podría definirse como la región de la retina que debe ser iluminada o no iluminada, de forma tal que active la respuesta de las fibras de la Vía Visual (Kandel, 2014).

El CR según Kandel, encierra toda la red sináptica que incluye a fotorreceptores, bipolares, horizontales y amácrinas; es de resaltar que los campos receptivos son mayores en la retina periférica que la central y que tienen estructura circular o elíptica, con un centro y periferia.

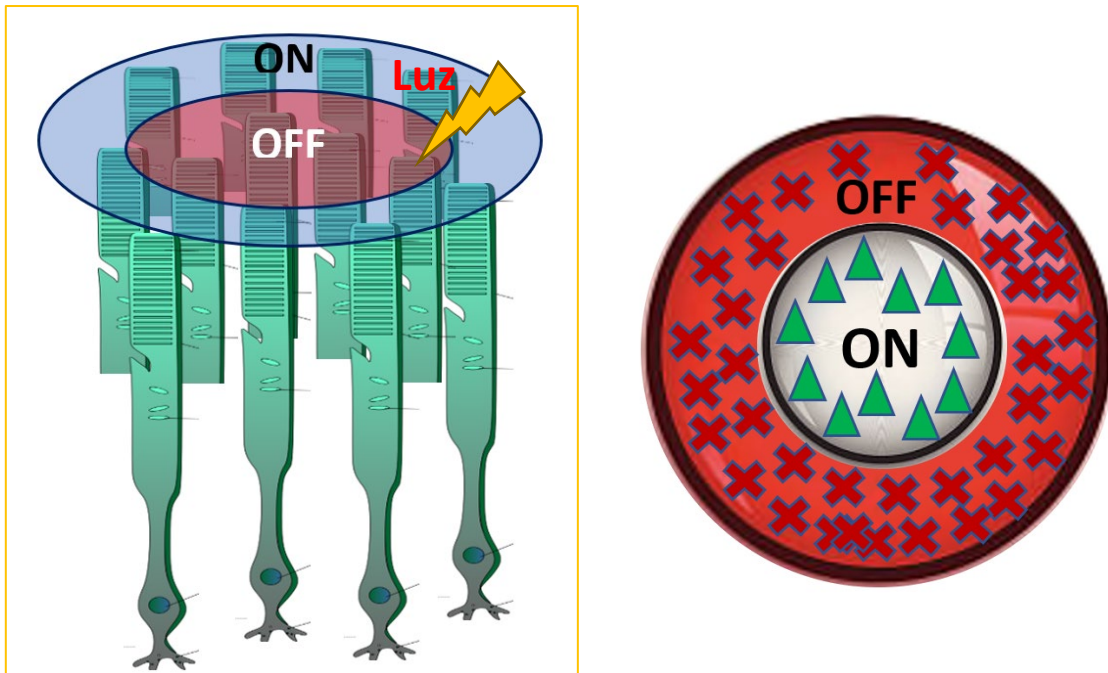
Dependiendo del tipo del estímulo que activa cada parte del CR, tenemos dos tipos, los ON – OFF o los OFF – ON (Kandel, 2014):

- *Campo Receptivo ON – OFF*: También llamados centro encendido periferia apagada, este campo para activarse necesita que la luz incida sobre el centro del campo.

Figura 3.17. Campo receptivo ON – OFF.



- *Campo Receptivo OFF – ON*: O centro apagado, periferia encendida, este por el contrario necesita que para ser estimulado se active su periferia, aquí el centro no recibe iluminación.

Figura 3.18. *Campo receptivo OFF – ON.*

Los campos receptivos se activan en diferentes etapas del procesamiento visual y de estos depende la organización del flujo de información porque especializa a las células neuronales para la respuesta de a un estímulo específico.

Control de movimientos oculares

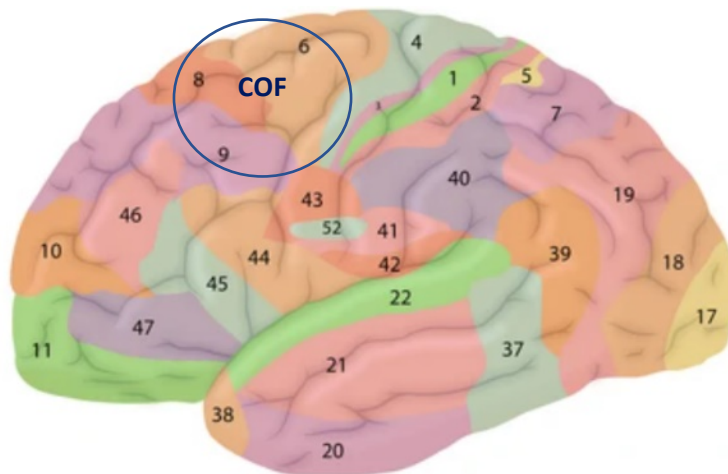
La inervación del sistema oculovisual se destaca por tener vías que procesan funciones motoras y sensoriales a diferentes niveles. Incluye las vías nuclear y supranuclear, que son las encargadas del control de toda la gama de movimientos monoculares, binoculares, conjugados y disyuntivos, que efectúa el sistema. Frente a esto, es fundamental adentrarnos en las características más relevantes de los movimientos, teniendo en cuenta esas vías localizadas a diferentes niveles del sistema nervioso central y periférico. Para esto, vamos a valernos de las divisiones propias del Sistema Nervioso como los centros motores y las vías corticales y así poder analizar la función motora desde la inervación.

Centro oculomotor frontal

Cuando hablamos del control de movimientos oculares estamos hablando del conjunto de nervios que controlan la función motora de los músculos con sincronía y ejecución funcional (Leigh & Zee, 1999).

Los movimientos oculares son ejecutados por nuestros Músculos Extraoculares (MEO) y dependen del comando de los nervios y la Corteza Cerebral, esta que es encargada además, de integrar funciones no solo motoras sino sensoriales. Por ejemplo, las áreas 6, 8 y 9 de Brodmann llamadas también el *Campo Ocular Frontal* (COF) tiene como una de sus funciones producir y controlar los movimientos conjugados de los ojos y los movimientos de cabeza (Dantas, 1995).

Figura 3.19. *Campo Ocular Frontal (COF).*



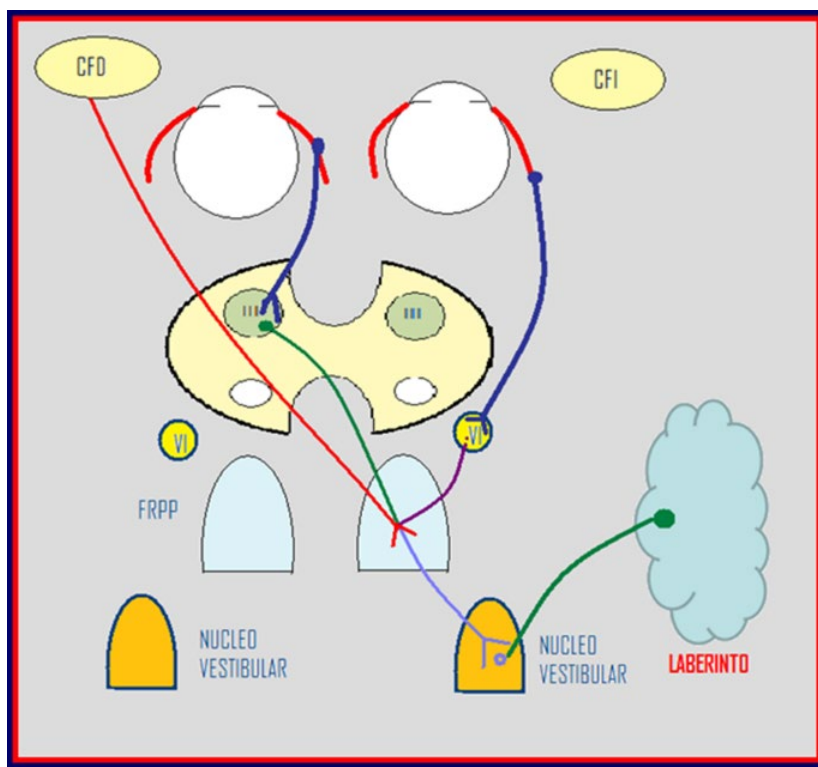
Nota. Fuente: <https://www.shutterstock.com/>

Otra estructura necesaria en la función de los movimientos oculares es el Colículo Superior (eminencia de la lámina tectal del Mesencéfalo), se destaca por ser un elemento que recibe la mayor cantidad de fibras provenientes del área 8 de Brodmann y que no tiene conexión directa con los Nervios Craneales, siendo fundamental en la transmisión, al servir de puente entre el córtex y los Pares craneales (Dantas, 1995).

Desde esta área 8 de la Corteza Frontal se desencadenan los movimientos oculares, que al estimularse generan como respuesta más frecuente, el movimiento conjugado de los ojos al lado opuesto a la región de estimulación, es decir, si la estimulación es del lado derecho del córtex, el movimiento será hacia la izquierda; este movimiento puede acompañarse de movimientos de cabeza en dirección opuesta, es decir al lado derecho. De esta forma, una vez se origina el estímulo en el espacio cortical frontal, hay fibras que desplazan el estímulo en proyección al Tronco Cefálico para conectar con los nervios craneales, es decir el III nervio – Oculomotor, IV – Troclear y VI – Abducens. Estos impulsos llegan a los núcleos a través de dos vías, la primera son las neuronas intercaladas en la Formación Reticular Paramediana Pontina (FRPP), que es el conjunto de núcleos y fibras del tegmento o calota del Tronco Cefálico, que están entre los núcleos y las vías nerviosas ascendentes y descendentes, su función es inhibir o facilitar funciones corticales. La segunda es el Fascículo Longitudinal Medial (FLM) que es el conjunto de fibras al lado del Tronco Cefálico que tienen la función de coordinar la abducción de un ojo con la aducción del otro y conecta fibras del III, IV y VI nervio craneal (Leigh & Zee, 1999).

En el caso de los *Movimientos sacádicos*, recordando que son aquellos movimientos rápidos y cortos usados para captar la fijación de un objeto, se originan en el área 8 de Brodmann contraria a la posición del movimiento, en donde las fibras que emergen de ahí, se dirigen al Mesencéfalo para decusarse y llegar a la FRPP, una vez allí salen fibras hacia los diferentes Nervios craneanos, que llegaran finalmente a los músculos extraoculares para hacer dicho movimiento (Dantas, 1995).

Figura 3.20. Vías nerviosas de los movimientos conjugados.



Así mismo, los movimientos oculares pueden tener control no solo frontal sino occipital, recordando que mientras se da el desarrollo de la visión las áreas occipitales tienen la capacidad no solo de producir funciones sensoriales, sino también motoras como los movimientos de fijación y seguimiento, estos básicamente están mediados por las vías occipitoparietales e involucran a las vías occipitoparietales e involucran a las vías occipitoparietales (Dantas, 1995).

Centro y vías oculomotores occipitoparietales

Los centros occipitoparietales están localizados en las áreas 18 y 19 de Brodmann, en donde se producen movimientos oculares automáticos, que típicamente son lentos, desencadenados de la estimulación visual y que hacen posible observar una imagen que se desplaza, estos incluyen: movimientos de fijación, de seguimiento, de búsqueda – persecución y el nistagmo optocinético; (Leigh & Zee, 1999).

Dichos movimientos no son de control voluntario, por eso intentar realizarlos sin un objeto de fijación, generarán pequeños movimientos sacádicos que no evocan los movimientos lentos, es por esto que clínicamente se evalúan a través de un punto que se mueve lentamente en forma pendular y en diferentes posiciones que estimularán a las zonas 18 y 19 de Brodmann que cuentan con dos tractos conectados con los nervios craneanos (Dantas, 1999).

El primer tramo tiene que ver con los movimientos de lateralidad, en este las fibras desde el espacio occipital pasan en dirección al Colículo Superior y se decusan en la protuberancia para llegar finalmente a los nervios craneanos responsables de los movimientos oculares (Dantas, 1999).

El segundo tramo tiene que ver con los movimientos verticales y oblicuos, aquí las áreas corticales visuales (18 – 19 de Brodmann) emiten fibras para los Colículos Superiores, de donde emergen fibras tectooculomotoras que finalizan en los núcleos oculomotores y abducens (Dantas, 1999).

Todo este conjunto de movimientos engloba una serie de zonas anatómicas que configuran un entramado sensorial y funcional, es de resaltar que no existe ningún espacio del cerebro que no tenga que ver con las acciones visuales y oculares, lo que hace que el sentido de la visión sea de alta complejidad. En los siguientes capítulos abordaremos características motoras, así como anomalías propias de esta fisiología sensorial.

Bibliografía

- Academia Americana de Oftalmología (2017). *“Pediatric Ophthalmology and Strabismus”*. AAO. USA.
- Alais, D. Blake, R. (2005). *“Binocular rivalry”*. MIT Press. Cambridge.
- Anderson, S. Fielder, A. Hess, R. Kiopes, L. Moseley, M. Reeves, B. (2002). *“Amblyopia”*. Plant A Tree. Rochester.
- Artigas, J. Capilla, P. Felipe, A. Pujol, J (1995). *“Óptica fisiológica clínica. Psicofísica de la visión”*. Interamericana McGraw-Hill. Madrid.
- Borish, I (2006). *“Clinical Refraction”*. Pag 130. The Professional Press: St. Louis, Missouri.
- Carulla, M (2008). *“Ambliopía: una revisión desde el desarrollo”*. Revista Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular N.º 11 pp 111-119. Bogotá – Colombia (<https://ciencia.lasalle.edu.co/svo/vol6/iss11/12/>)
- Ciuffreda, J. Levi, D. Selenow, A. (1991) *“Amblyopia Basic and Clinical Aspects”*. Butterworth – Heinemann: USA.
- Duane, A. (1908). An attempt to determine the normal range of accommodation at various ages, being a revision of Donder's experiments. Trans Am Ophthalmol Soc, 11(Pt 3), 634-641 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1322369/?page=8>)
- Gil del Rio, E (1985). *“Óptica fisiológica clínica”*. Editorial Toray. Barcelona.
- Guerrero, J (2012). *“Fundamentos de agudeza visual aplicados en la construcción de estímulos visuales concéntricos. Estímulo Arorradial de Guerrero (EAG)”*. En Revista Ciencia

- y tecnología para la salud visual y ocular. Vol. 10, No 2. Julio-diciembre de 2012, pp. 105-123. Bogotá – Colombia.
- Hugonnier, R. Hugonnier, S. (1977). “Estrabismos heteroforias e paralysis Oculomotoras”. Toray – Masson: Barcelona.
- Kandel, E. Schwartz, J. Jessell, T (2014). “*Principles of Neural Science*”. McGraw-Hill. New York
- Kandel, E. Schwartz, J. Jessell, Thomas (2000). “*Neurociencia y conducta*”. Editorial Prentice Hall. USA.
- Kaufmand, P. Alm, A (2004). “*Adler Fisiología de ojo*”. Elsevier. España. Leigh, R. Zee. D (1999). “*The Neurology of eye movements*”. Oxford University Press Inc. Oxford.
- Martín, R. Vecilla, Gerardo (2010). “*Manual de Optometría*” Panamericana. Madrid.
- Mortera Dantas, A (1995). “*Neurofisiología ocular*”. Revinter. Brasil.
- Noorden, V. Campos, E. (2002). “*Binocular Vision and Ocular Motility*”. Mosby. St. Louis, Remington, Remington, L (2005). “*Clinical anatomy of the visual system*”. Elsevier. USA
- Perea, J (2008) “*Estrabismo*”. Gráficas Toledo. Toledo
- Pickell, D. (1996). “*Anomalías de la Visión Binocular*” Pag 33 Colegio de Ópticos – Optometristas: Bradford
- Prieto, J. Sousa, C (2000). “*Estrabismo*”. Editorial Santos. São Paulo.
- Puell, M.C (2014). “*Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. Universidad Complutense. Madrid
- Scheiman, M. Wick, B. (2014) “*Clinical Management os Binocular Visio, Heterophoric, Accommodativa and Eye Movement Disorders*” Pag 19. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.
- Taylor, D. Hoyt,c. (2005) “*Pediatric Ophthalmology and Strabismus*”. Elsevier Ltd: London and San Francisco.