

NEUROOFTALMOLOGÍA

COLECCIÓN PROECO

COORDINADORES

Dra. Haydée Martínez

Médica oftalmóloga universitaria por la Universidad de Buenos Aires.
Jefe de trabajos prácticos de la Cátedra de Oftalmología, Universidad de Buenos Aires.
Jefe de la sección Neurooftalmología de la División Oftalmología del Hospital de Clínicas José de San Martín, Buenos Aires.

Dra. Mariana de Virgiliis

Magíster en Oftalmología por la Universidad Católica de Salta.
Docente de grado del Hospital Universitario Austral, Pilar, Buenos Aires.
Jefe de sección Neurooftalmología del Hospital Oftalmológico Pedro Lagleyze, Buenos Aires.

Dr. Roberto Ebner

Médico oftalmólogo por la Universidad de Buenos Aires.
Profesor titular, Cátedra de Oftalmología de la Universidad Católica Argentina.
Director del Servicio de Oftalmología del Hospital Británico de Buenos Aires.

AUTORES

Dra. Moira Altszul

Médica oftalmóloga universitaria por la Universidad de Buenos Aires.
Profesora asociada del Instituto Universitario del Hospital Italiano de Buenos Aires.
Jefa de Sección Neurooftalmología, Servicio de Oftalmología del Hospital Italiano de Buenos Aires.

Dra. Macarena Clementi

Médica oftalmóloga y neurooftalmóloga por la Universidad de Buenos Aires.
Docente adscripta de la Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires.
Jefe de Sección Neurooftalmología, Hospital Central de San Isidro, prov. de Buenos Aires.

Dra. Mirta Arana

Médica por la Universidad de Buenos Aires.
Neurooftalmóloga del Servicio de Oftalmología del Hospital de Clínicas General San Martín, Buenos Aires.

Dr. Pablo Pérez Vega

Médico oftalmólogo por la Universidad de Buenos Aires.
Médico de planta, Sección Neurooftalmología, Hospital Oftalmológico Dr. Pedro Lagleyze.
Ayudante de primera, Cátedra de Oftalmología, Universidad de Buenos Aires.

Dra. Laura Braccia

Médica especialista en Oftalmología, Universidad de Buenos Aires.
Colaboradora externa del Hospital Oftalmológico Pedro Lagleyze, Buenos Aires.

Dra. Dolores María Ribero Ayerza

Médica por la Universidad del Salvador, Buenos Aires.
Profesora adjunta de la Cátedra de Oftalmología de la Universidad Católica Argentina.
Médica del Servicio de Oftalmología del Hospital Británico de Buenos Aires.

Dr. Sergio Carmona

Doctor en Medicina por la Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
Profesor titular de Neurofisiología de la Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario.
Jefe de Neurootología del Instituto de Neurociencias Buenos Aires (INEBA).

Dra. Lidia Sarotto

Médica oftalmóloga por la Universidad de Buenos Aires.
Médica de planta del Hospital de Clínicas Gral. José de San Martín.

SUMARIO

1. **Anatomía y fisiología de la vía visual**
2. **Estudio de las funciones visuales y de la semiología motora**
 - A. Estudio de las funciones visuales
 - B. Estudios electrofisiológicos
 - C. Estudio de las funciones motoras
3. **Neuroimágenes**

Análisis de imágenes en patología neurooftalmológica
4. **Patología del nervio óptico**
 - A. Malformaciones de papila
 - B. Amaurosis fugaz
 - C. Edema de papila
 - D. Neuritis óptica
 - E. Neuropatía óptica isquémica
 - F. Tumores del nervio óptico
 - G. Neuropatía óptica traumática
 - H. Atrofia óptica
5. **Patología quiasmática**
6. **Patología de la vía óptica retroquiasmática**
7. **Patología pupilar**
8. **Patología de la motilidad, nistagmus y movimientos oculares anormales**
 - I. Patología de la motilidad
 - II. Nistagmus y movimientos oculares anormales
9. **Enfermedad de la unión neuromuscular y del músculo**
10. **Distonías faciales y quemodenervación**

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LA VÍA VISUAL

Laura Braccia y Haydée Martínez

Introducción

La vía visual constituye un complejo sistema sensorial cuya función no se limita a transmitir el estímulo luminoso recibido por los fotorreceptores hasta la corteza occipital.

A lo largo de las diferentes estaciones, la luz se “traduce” codificada, modulada y regulada de manera de integrar a nivel cerebral todos los elementos que componen una imagen, es decir, definición, contraste, color, brillo, entorno, movimiento, etc.

Por otra parte, es una de las vías más importantes que integran el sistema nervioso central: el 38% de todas las fibras que llevan información desde y hacia el cerebro se halla dentro del nervio óptico. Esta cifra puede multiplicarse por 80 si se consideran fotorreceptores en lugar de fibras del nervio óptico.

Básicamente la vía visual está integrada por receptores sensoriales (fotorreceptores) y tres neuronas (fig. 1).

Si bien la vía óptica se inicia en la retina, para su normal funcionamiento obviamente requiere de una integridad ocular que permita la aferencia normal de la luz a la vía. Por ello suele decirse gráficamente que la vía óptica se inicia en las pestañas (fig. 2).

Retina

Su comienzo real se da en la retina, que presenta una estructura celular enormemente compleja: 100 millones de neuronas con 30 tipos celulares distintos que utilizan por lo menos 10 diferentes neurotransmisores. Se muestra la organización celular

retinal y su correlación con un corte histológico en la figura 3. Sobre su anatomía se formularán algunas consideraciones funcionales.

Lo mismo corresponde mencionar sobre su fisiología. En tal sentido se puede decir que no es estática pues el número de células que intervienen para procesar la información varía con el nivel de iluminación, el tipo de luz que estimula y el estado de adaptación de la retina a la luz.

Por ejemplo, los colores de longitud de onda corta aparecen más brillantes con luz escasa que con luz brillante debido al cambio hacia la función de conos en estado escotópico.

La retina cubre aproximadamente 2.500 mm² y por su origen es parte del sistema nervioso central (capa externa de la vesícula óptica y extremo anterior del tubo neural).

Los fotorreceptores (FR) son los transductores sensoriales del sistema visual. Convierten energía electromagnética (luz) en una señal nerviosa



Figura 1. Esquema de la vía óptica.

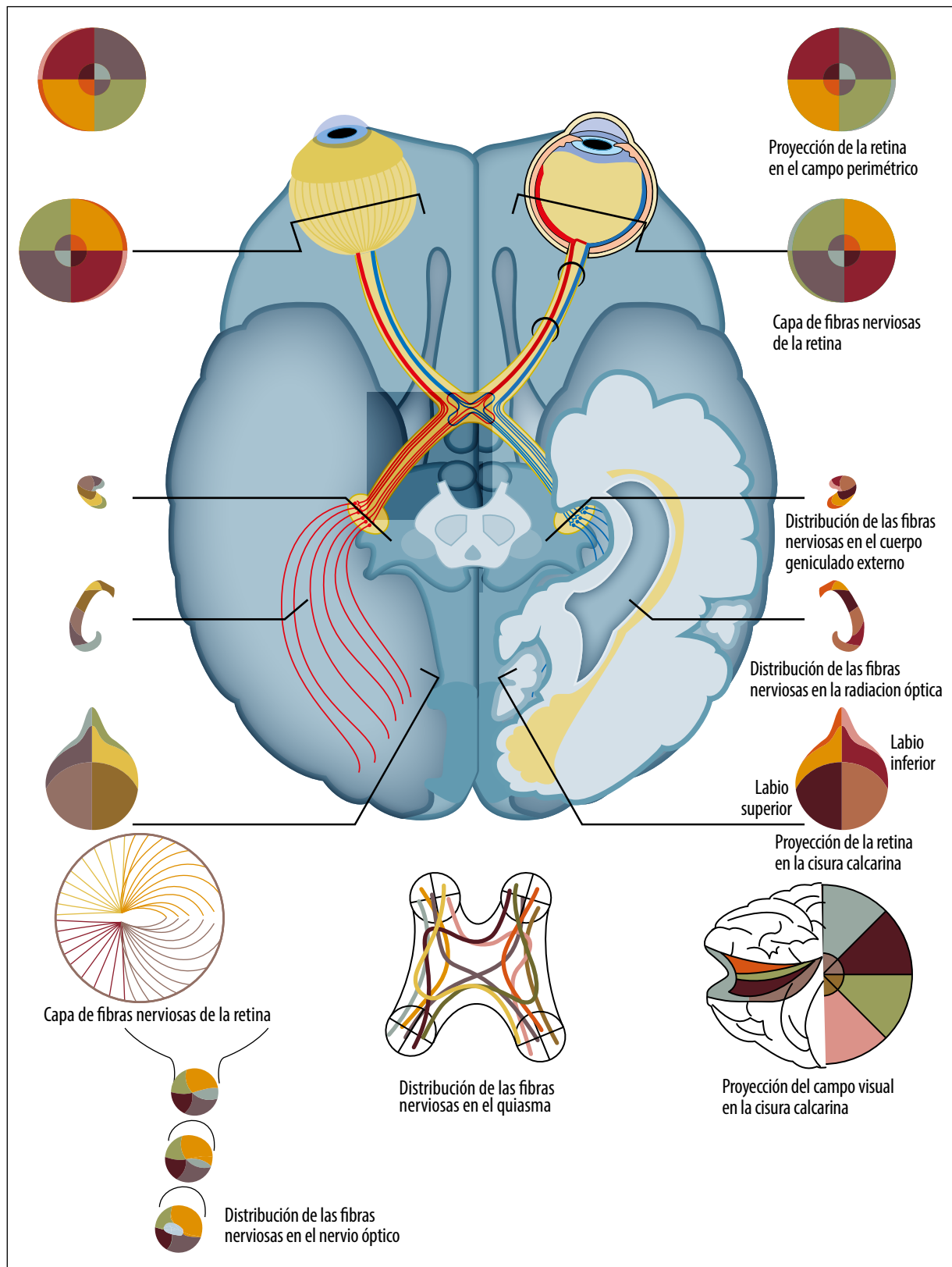


Figura 2. Vía óptica. diagrama completo de sus componentes.

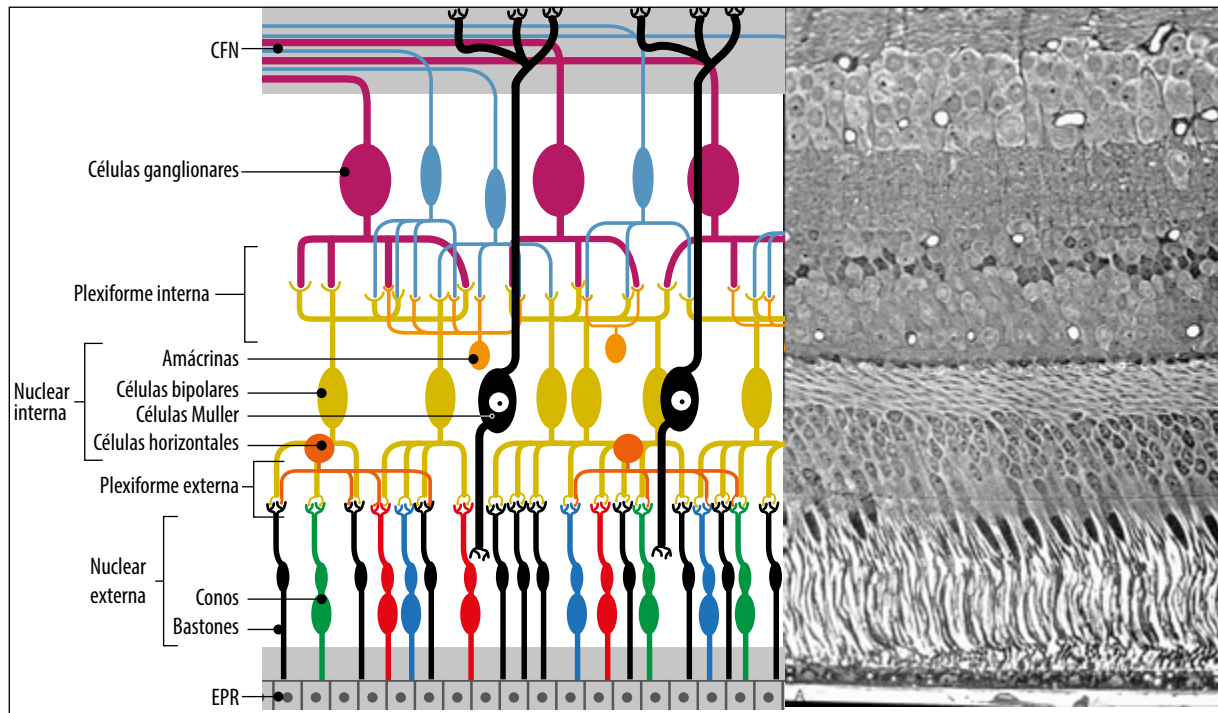


Figura 3. Organización de las capas de la retina y su correlación con corte macular histológico.

mediante los pigmentos visuales que absorben fotones de luz en un rango entre 400 y 700 nm y que han atravesado la córnea y el cristalino.

Se busca lograr una respuesta bien definida cuando la retina es estimulada por la luz. Los fotorreceptores se hiperpolarizan, disminuye la liberación de glutamato en las terminales de ambos, conos y bastones. Las células horizontales se hiperpolarizan suprimiendo la respuesta a la luz de los FR. La señal de salida de conos y bastones diverge a partir de allí para pasar a las bipolares, primera neurona de la vía que llega hasta las células ganglionares.

Allí se inicia la segunda neurona de la vía y el procesamiento visual. El 60% de las ganglionares se ubica adyacente a la fovea y corresponde a los 30 grados centrales del campo visual.

Se clasifican de acuerdo con:

- ♦ *El estrato en que se ramifican sus dendritas:* ON sublámina b y OFF sublámina a. Sus axones terminan en las capas magno y parvocelular del geniculado lateral.

♦ Su tamaño:

- El 80% es pequeño: **beta** o "**P**" (parvocelular). Tiene campos receptivos pequeños, poca sensibilidad al contraste y campos receptivos para el color opuesto (por ejemplo, centro verde, entorno rojo, lo que generan las conexiones en la plexiforme interna y externa). Cerca de la fovea su campo receptivo es de un tamaño equivalente a un cono y tiene respuestas lineares características, es decir que su nivel de excitación es equivalente al grado en que el campo receptivo se estimula o inhibe. Estas ganglionares centrales son llamadas X y se trata del mayor afluente al nervio óptico para agudeza visual, color y estereopsis fina. Resolución de alto contraste y alta frecuencia espacial.
- El 5-10% es grande: **alfa** o "**M**" (magnocelular), también llamada parasol. Espectralmente son de banda ancha. Recibe la afluencia de tres conos por lo que la respuesta a una determinada intensidad luminosa no está determinada por la longitud de onda. Sus campos receptivos son más grandes y más

sensibles al contraste, sin respuesta linear a la luz. Presenta picos de actividad en respuesta a cambios en la escena visual más que a intensidad de luz y este tipo particular es llamado Y (en oposición a las X parvocelulares). Su daño altera la percepción de movimiento y la frecuencia temporal alta del flicker. Brinda información sin color de alta frecuencia temporal y baja frecuencia espacial.

- Las parasol no son P ni M y sí en cambio, sensibles al color. Su campo receptivo se estimula cuando ondas cortas se enfocan a su centro, es decir que son sensibles al azul y reciben la aferencia de cono azul a través de bipolares ON con su sinapsis ubicada en la sublámina b de la plexiforme interna. Sólo se han detectado neuronas ON y su entorno opuesto sería amarillo como resultado de la combinación de aferencia roja y verde.
- Las gamma poseen un pequeño cuerpo celular y dendritas difusamente ramificadas. Algunas tienen cuerpo grande lo que hace pensar en que cumplirían dos funciones distintas.
- Las células delta presentan un cuerpo pequeño y dendritas difusas pero poco ramificadas.

Las restantes están poco estudiadas y cumplirían otras funciones diferentes que la percepción visual. Por ejemplo, algunos axones hacen sinapsis en el hipotálamo para llevar el flujo aferente al núcleo supraquiasmático que regula el ritmo circadiano. Sus axones dejan la vía visual inmediatamente detrás del quiasma —tracto retinohipotalámico— lo que justificaría un descenso de la melatonina sérica en pacientes ciegos por enfermedad de retina o del segundo par. Otros llegarían al mesencéfalo y estarían relacionados con el reflejo luminoso.

La mayoría de las células ganglionares tienen propiedades comunes con excepción de las gamma:

- ♦ *Campo receptivo organizado con un centro rodeado de un entorno opuesto* lo que posiblemente se deba en parte a la inhibición lateral de las horizontales y amacrinas.
- ♦ *Respuesta ON-OFF al contraste o al espectro de luz incidente*, lo que dependería de la ramificación de sus dendritas en las subláminas de la plexiforme interna (ON: b - OFF: a).

- ♦ *Respuesta a la luz sostenida o transitoria según el patrón de interconexión con las amacrinas en la plexiforme interna.* Las respuestas transitorias resultan de sinapsis de *feedback* de la plexiforme interna que alteran la respuesta sostenida normal de la retina externa.

Las células ganglionares con respuesta sostenida tienen linealidad de suma espacial, es decir que su respuesta es proporcional al grado de iluminación en el centro de su campo receptivo mientras que las de respuesta transitoria aumentan o disminuyen su respuesta con los cambios de iluminación.

Estas células mantienen una respuesta sostenida espontánea, lo que consume mucha energía, pero se presume que les permite una respuesta más precisa al nivel de iluminación y aumentan o disminuyen su respuesta. En general no responden a un cambio en el nivel general de luz que llega a la retina sino a diferencias de contraste entre el centro y el entorno.

La mayoría de las P son X y la mayoría de las M son Y, pero hay un tercer tipo W que mezcla propiedades de ambas y pueden no tener el esquema concéntrico de campo receptivo.

Algunas poseen una propiedad fisiológica única que es la selectividad direccional, es decir que presentan respuesta cuando el estímulo atraviesa su campo receptivo en una determinada dirección. Reciben su afluencia de las amacrinas colinérgicas. Otras W presentan respuesta ON u OFF según el estímulo entre o salga de su campo receptivo. Tienen dendritas biestratificadas que llegan a la sublámina a y b.

Los axones de las células ganglionares forman la mayor parte de la vía óptica ya que, al partir de la retina, forman el nervio óptico, el quiasma y las cintillas ópticas hasta llegar al geniculado, donde hacen sinapsis y se inicia la tercera neurona de la vía.

Son axones largos cuyo mantenimiento depende del cuerpo celular pues no son estructuras estáticas. Cumplen el transporte axonal de proteínas, enzimas y otros componentes subcelulares hacia la sinapsis y de detritus desde la sinapsis. Es, por lo tanto, bidireccional, simultáneo y de velocidad variable.

El 85% es flujo anterógrado lento que lleva componentes que permanecen en la célula como pro-

teínas citoesqueléticas. Se transportan cinco tipos diferentes de proteínas. Las vesículas de neurotransmisores se llevan por un mecanismo de transporte rápido gracias al movimiento de la quinesina que posee una cabeza globular que reacciona con estructuras microtubulares que sirven de cable conductor para el transporte dentro del axón.

El transporte retrógrado es más lento aún y lleva al cuerpo celular sustancias que han entrado a la célula en su terminal sináptica.

Dada la gran necesidad de energía para toda esta transportación hay mitocondrias distribuidas a lo largo de todo el axón.

Los axones hacen sinapsis en sitios específicos de acuerdo con la anatomía del cuerpo celular: al respecto P y M la realizan en el geniculado lateral, en las capas parvo y magnocelular respectivamente. Las ganglionares ON y OFF parecen permanecer separadas funcionalmente a nivel del geniculado, aunque ambas convergen en la corteza visual.

Nervio óptico

No es realmente un nervio sino un tracto, es decir parte del sistema nervioso central. Sus axones — los axones de las células ganglionares — son mielinizados por oligodendrocitos y no por células de Schwann. La vía óptica lleva 1.2 millones de axones, hace sinapsis en uno o más de 8 núcleos visuales primarios y su porción anterior se conoce como nervio óptico, que mide 50 mm de largo.

Para su estudio puede ser dividido en cuatro sectores:

Porción intraocular

Es una zona de transición porque las fibras nerviosas pasan de un área de alta presión (intraocular) a una de baja presión (intracraneal), de una circulación provista por la arteria central de la retina a otra que depende de la arteria oftálmica y además las fibras pasan a estar mielinizadas.

La apariencia de la papila depende del tamaño del canal escleral y del ángulo de salida del canal del ojo.



Figura 4. Imagen del nervio óptico en la órbita y sus relaciones: RMN. Corte coronal

Los axones, al girar 90 grados, se disponen en haces rodeados de columnas de glía mientras pasan a través de las perforaciones de la lámina cribosa. El tejido conectivo fenestrado y la glía forman un obstáculo que impide a la “alta” PIO llegar a los tejidos retrolaminares. La matriz extracelular de la lámina es de colágeno que se parece más a la membrana basal cerebral que a la esclera.

El nervio óptico (NO) está compuesto por axones de las células ganglionares (casi 90%), astrocitos, células asociadas a capilares y fibroblastos (figs. 4 a 6).

Porción intraorbitaria

Adopta la forma de una S alargada con una longitud de 20-30 mm y un diámetro de 3-4 mm. Está recubierta por la duramadre.

La arteria y vena central de la retina se ubican ínfero-mediales al NO y la arteria oftálmica en posición ínfero-lateral (fig. 7).



Figura 5. Imagen del nervio óptico en la órbita y sus relaciones: RMN. Corte axial

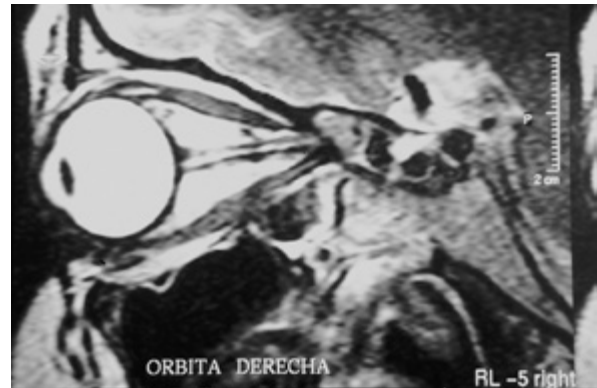


Figura 6. Imagen del nervio óptico en la órbita y sus relaciones: RMN. Corte sagital

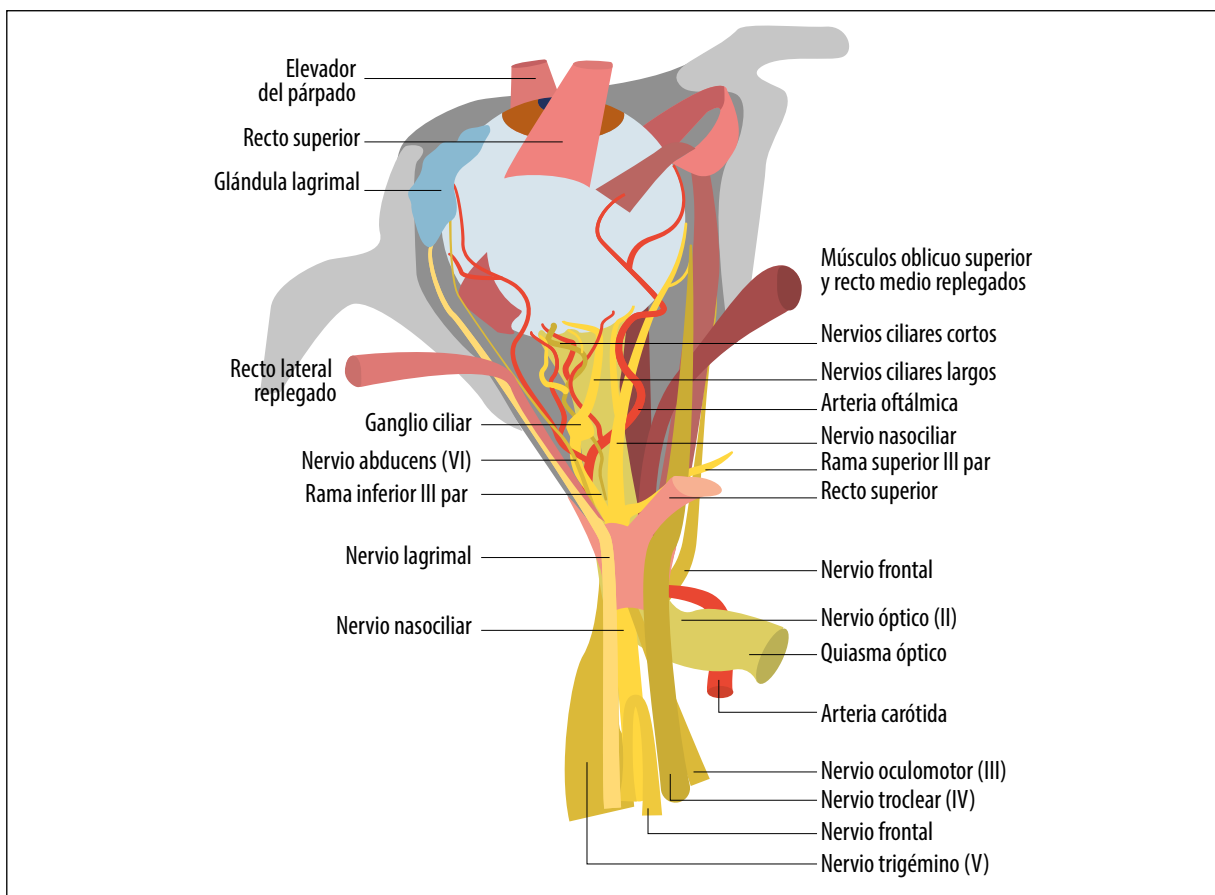


Figura 7. Porción intraorbitaria del nervio óptico y sus relaciones.

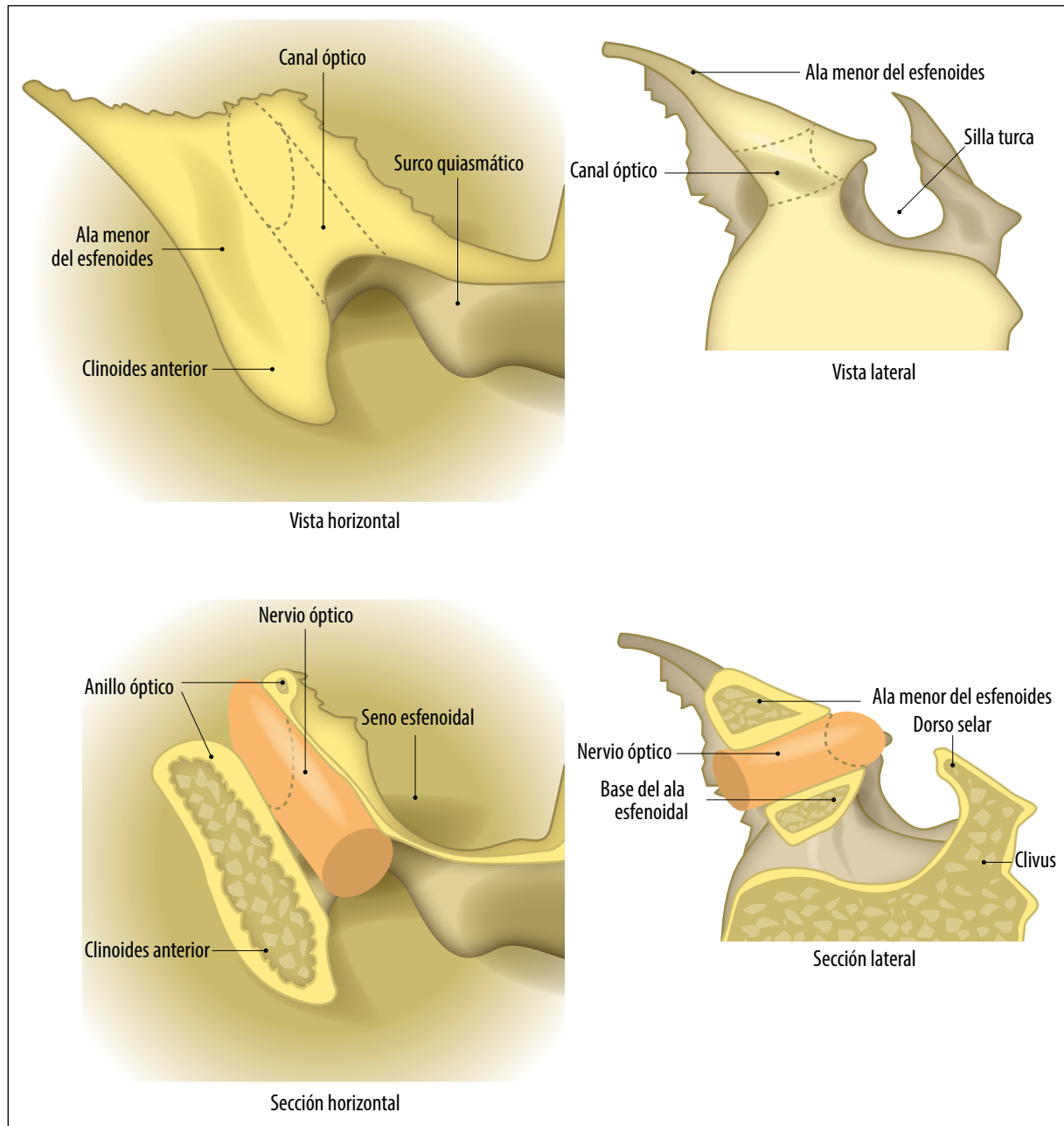


Figura 8. Canal óptico y sus relaciones con el II par.

Porción intracanalicular

Atraviesa el canal óptico cuyo comienzo es el agujero óptico, que se halla en el vértice del techo orbitario. El canal óptico presenta un largo de 4 a 9 mm y un diámetro de 4 a 6 mm. Junto con el nervio óptico, recubierto por las meninges, también transcurren por el canal la arteria oftálmica y las ramas simpáticas.

A este nivel presenta importantes relaciones: por arriba con el lóbulo frontal y tracto olfatorio-medial, con el seno esfenoidal y celdillas etmoidales posteriores (en algunos casos el NO está separado de la mucosa del seno sólo por el periostio) e ínfero-lateral por hendidura orbitaria (fig. 8).

Porción intracraneal

Se dirige hacia la línea media para unirse con el nervio óptico contralateral y conformar el quiasma.

El nervio óptico lleva aproximadamente 1.000.000 de fibras de distinto tipo: 1 µm, 4 µm, 9 µm de gran velocidad de conducción (1.3 a 20 m/seg) y que, por otra parte, cumplen tres funciones: **visuales**, **pupilares** y **centrífugas**.

- ♦ **Visuales:** se dirigen principalmente al cuerpo geniculado lateral. Hay conexiones con núcleos del hipotálamo: sustato anatómico para el ritmo circadiano relacionado con la luz y con el pulvinar en relación con la motilidad ocular. También se encuentra un sistema óptico accesorio: propiocepción visual que contribuye a la estabilización de la imagen retinal.
- ♦ **Pupilares:** son las que se dirigen a la región tectal y pretectal del colículo superior relacionada con la función pupilar y la motilidad ocular.
- ♦ **Centrífugas:** se dirigen a la retina y sus vasos. Se originan en el cerebro terminando en la retina, realizarían algún mecanismo de *feedback* y serían hasta el 10% de las fibras del NO. En animales inferiores la retina es mucho más compleja ya que desarrolla más funciones, mientras que en el primate y el humano es más sencilla puesto que las funciones superiores son cerebrales.

Lo que no se ha hallado son los cuerpos celulares correspondientes a estas fibras en el cerebro.

Las fibras visuales a su vez se organizan en haces de acuerdo con su origen:

- ♦ **Haz papilomacular:** tiene un 65% de fibras pequeñas que ocupan la porción central del nervio y luego se desplazan hacia el sector temporal.
- ♦ **Fibras arciformes superiores:** provenientes de la retina temporal superior.
- ♦ **Fibras arciformes inferiores:** llegan de la retina temporal inferior.
- ♦ **Fibras radiadas superiores:** vienen de la retina nasal superior.
- ♦ **Fibras radiadas inferiores:** proceden de la retina nasal inferior.

Irrigación retina y nervio óptico

La retina recibe su irrigación de las ramas de la arteria oftálmica. La arteria central de la retina ingresa al ojo por la cabeza del nervio óptico e irriga la porción interna de la retina, mientras que la arteria ciliar penetra la esclera cercana al nervio óptico e irriga a la coriocapilaris. Esta capa es la encargada de suministrar oxígeno y nutrientes a la retina externa y a los fotorreceptores. Las arterias retinales, ramas de la arteria central, no ingresan a un área compuesta por la fovea y el espacio perifoveal: la zona foveal avascular.

La irrigación de la cabeza del nervio óptico depende del círculo de Zinn-Haller, de las arterias ciliares posteriores (lateral y medial), vasos coroideos, de las 4 arterias ciliares cortas (ramas de la oftálmica) y de la red de vasos piales (figs. 9 y 10).

El nervio óptico en su porción retrolaminar se nutre de ramas de la arteria central de la retina y de ramas piales de las arterias coroideas.

Quiasma óptico

El quiasma es una comisura formada por la convergencia de los nervios ópticos (anterior) y la divergencia de las cintillas ópticas (posterior). Se ubica por encima de la hipófisis, separado de ella por el diafragma selar y la cisterna basal (supraselar). Está envuelto por la aracnoides, recubierto por la pia madre y rodeado por la cisterna quiasmática que se extiende por delante y abraza los nervios ópticos. Tiene 8 mm largo x 13 mm ancho x 4 mm espesor (figs. 11 y 12).

Sus principales relaciones son:

- ♦ **Por delante:** la arteria cerebral anterior y la comunicante anterior (probable compresión por aneurismas, importante diagnóstico diferencial).
- ♦ **Lateralmente:** se ubican las arterias carótidas internas y, en relación con las paredes laterales de la silla turca, están los senos cavernosos por donde transcurren los pares oculomotores: III (oculomotor), IV (troclear), VI (abducens), el V par (trigémino) y el plexo simpático pericarotídeo.

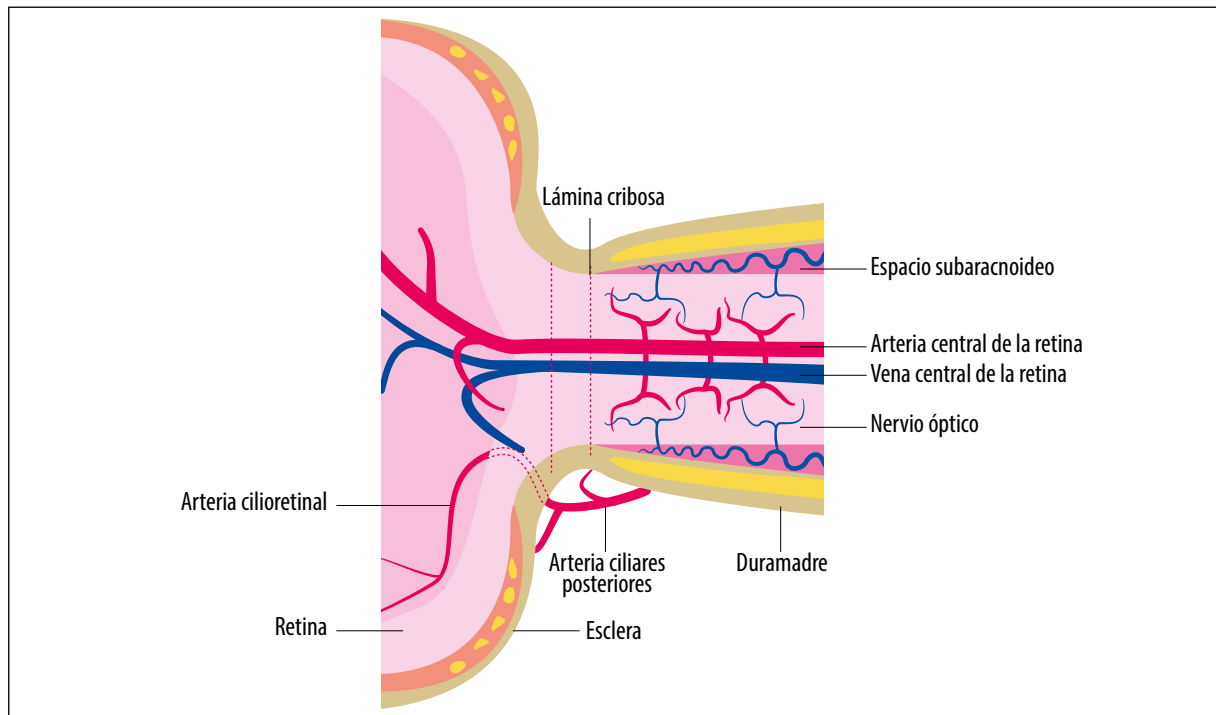


Figura 9. Irrigación del nervio óptico.

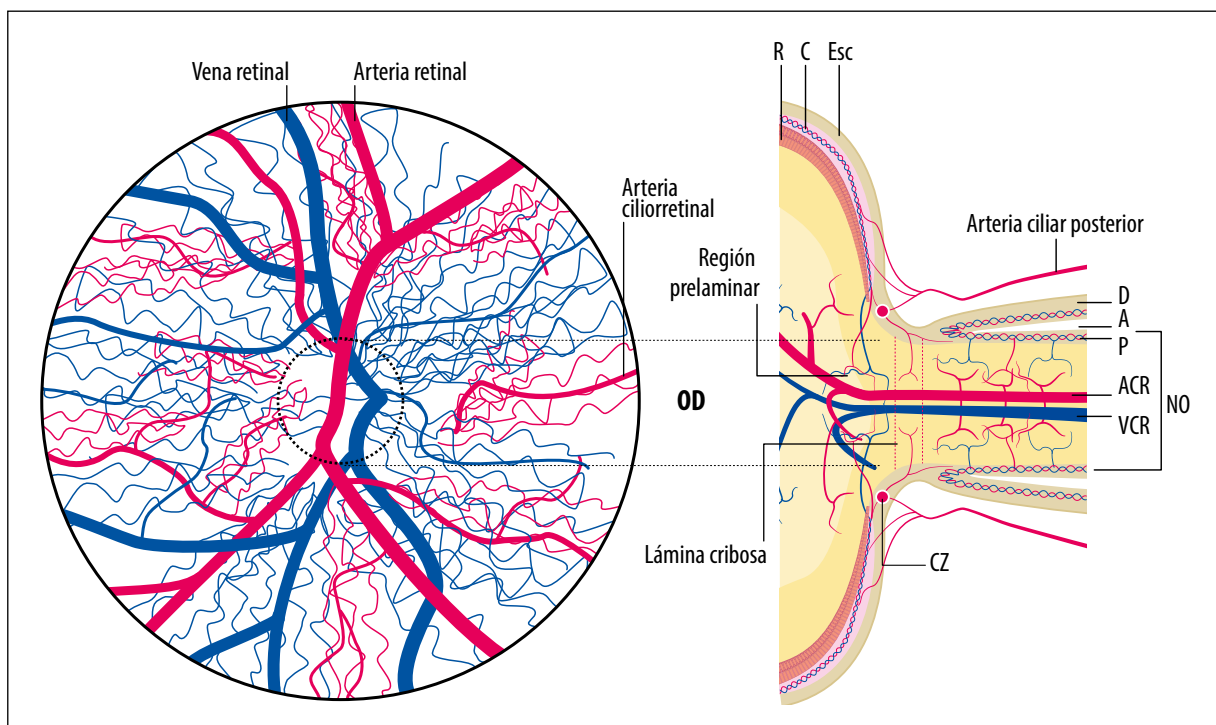


Figura 10. Irrigación de la retina y la cabeza del nervio óptico. R: retina. C: coroides. Esc: esclera. P: piamadre. A: aracnoides. D: duramadre. ACR: arteria central de la retina. VCR: vena central de la retina. CZ: círculo de Zinn Haller. DO: disco óptico. NO: nervio óptico. ACP: arterias ciliares posteriores.

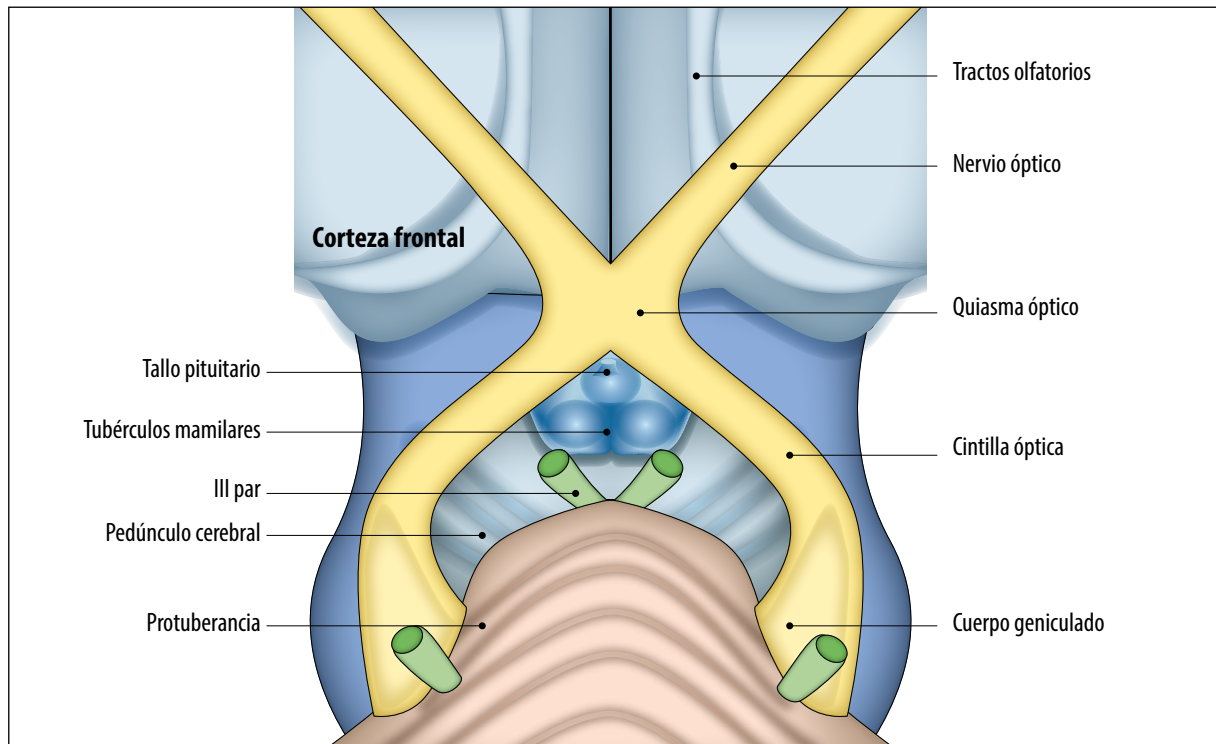


Figura 11. Esquema de corte axial del quiasma.



Figura 12. RMN. Quiasma. Corte axial.

- ♦ **Posterior y superior:** tercer ventrículo que se invagina en su extremo anterior formando el receso supraóptico (superior) y el receso infundibular (inferior). Es una relación muy importante ya que si un crecimiento tumoral obstruye el flujo en el III ventrículo, su expansión puede comprimir al quiasma. Se relaciona también con los pedúnculos cerebrales, el III par, la cisterna interpeduncular y el hipotálamo (*tuber cinereum* y tubérculos mamilares).
- ♦ **Inferior:** habitualmente (80%) el quiasma se ubica de manera que se proyecta sobre el dorso de la silla turca y no se relaciona directamente con el diafragma selar sino que está separado de él (aproximadamente 10 mm: cisterna basal) con una angulación de 45 grados en sentido anteroposterior, de manera que se eleva hacia atrás. Esto implica que usualmente se requiere de una extensión supraselar de un adenoma de hipófisis de aproximadamente 10 mm para que logre comprimir al quiasma (figs. 13 a 15).

Con menos frecuencia el quiasma puede estar prefijado ubicándose sobre el surco quiasmático —en relación con el tubérculo selar— o posfijado detrás del dorso selar. Estas posiciones harán que

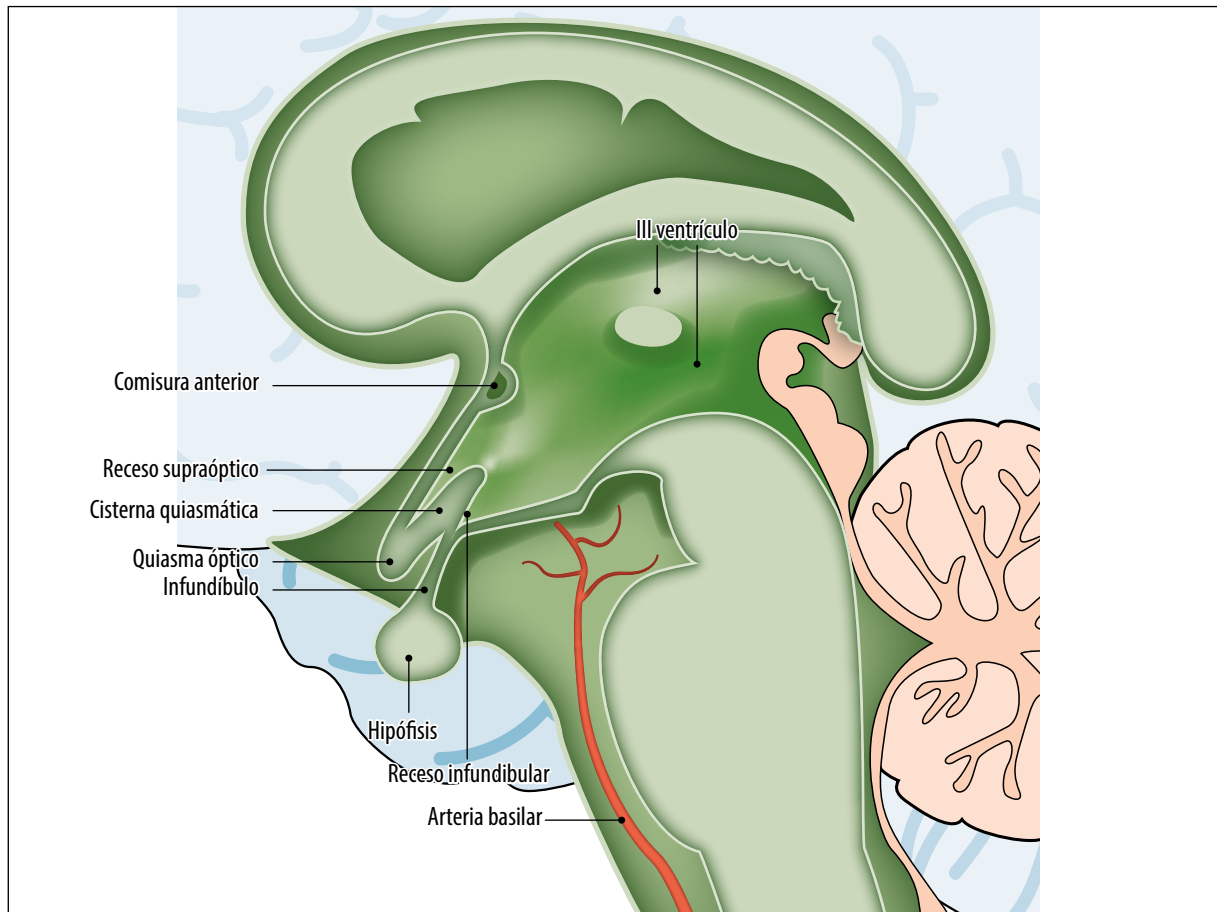


Figura 13. Quiasma. Corte sagital. Esquema A.

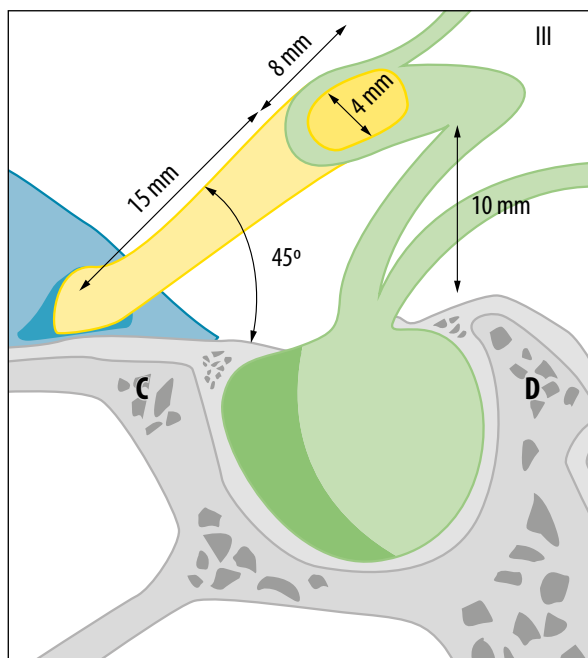


Figura 14. Quiasma. Corte sagital. Esquema B.

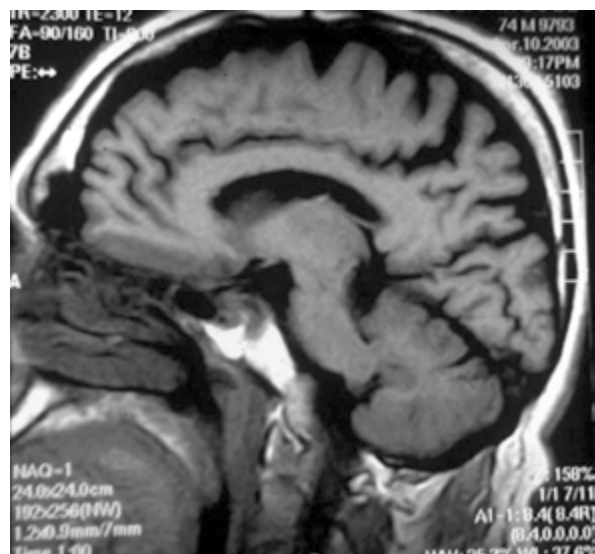


Figura 15. RMN. Quiasma. Corte sagital.

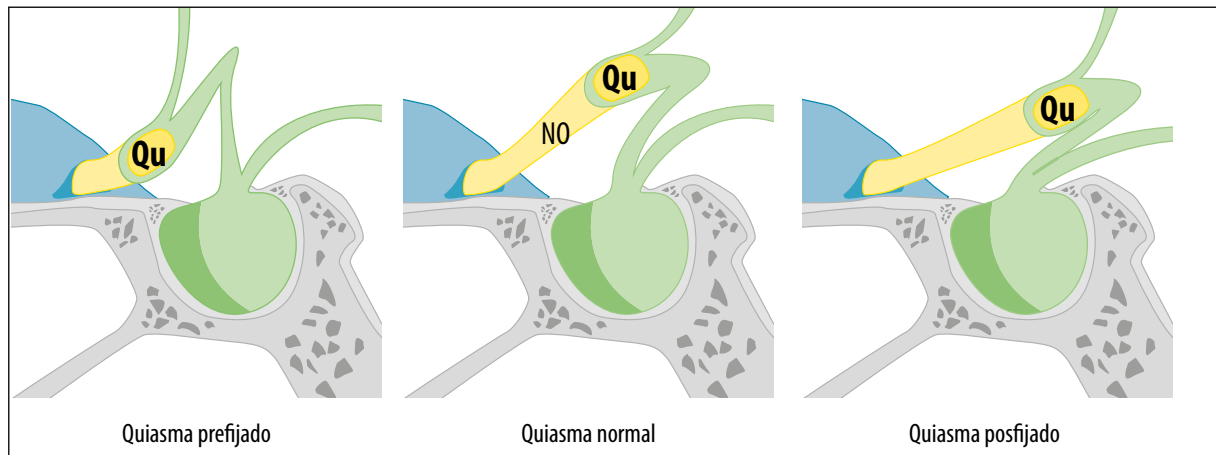


Figura 16. Quiasma. Variaciones anatómicas.

la compresión se produzca sobre las cintillas ópticas en el primer caso o sobre los nervios ópticos en el segundo, produciendo un defecto de campo visual diferente al típico defecto bitemporal (fig. 16).

Irrigación

Está dada por la arteria cerebral anterior en su región superior, por la arteria carótida interna y los vasos posteriores del polígono de Willis en la región inferior (fig. 17).

Histología y fisiología

El quiasma está compuesto por 2.000.000 de fibras mielinizadas que son los axones de las células ganglionares de ambas retinas (fig. 18).

Su organización retinotópica determina que las fibras provenientes de las mitades nasales de cada retina (53%) se cruzan yendo a la cintilla óptica contralateral y las fibras provenientes de las mitades temporales (47%) son directas. En estas fibras periféricas aquellas provenientes de los cuadrantes superiores tienden a permanecer separadas de las provenientes de los cuadrantes inferiores (fig. 19).

A su vez, las fibras nasales inferiores forman una entrante en el nervio óptico contralateral antes de

dirigirse a la cintilla óptica contralateral (rodilla de Von Willebrand).

Hay que tener en cuenta que la mayor parte de las fibras que conforman el quiasma (así como toda la vía óptica) provienen de la región central de la retina —la mácula— y estas fibras también pueden ser directas, cruzadas (se entrecruzan en la porción posterior del quiasma) y dispersas, formando un verdadero “quiasma dentro del quiasma” (Tracquair). Únicamente no se las encuentra en las porciones ántero y pósteroinferior.

También conforman el quiasma fibras no visuales. Se trata de fibras comisurales supraópticas cuya función es dudosa ya que se supone que conectan ambos nervios ópticos y vías que actúan en los mecanismos de *feedback* yendo, por ejemplo, al hipotálamo (fig. 20).

Cintillas ópticas

Son la continuación posterior del quiasma (hay que recordar que no hay sinapsis). Desde su origen divergen frente al espacio interpeduncular y quedan separadas entre sí por el tallo pituitario y el tercer ventrículo. Contornean los pedúnculos cerebrales — en relación con la arteria cerebral posterior— para terminar en el cuerpo geniculado lateral o externo.

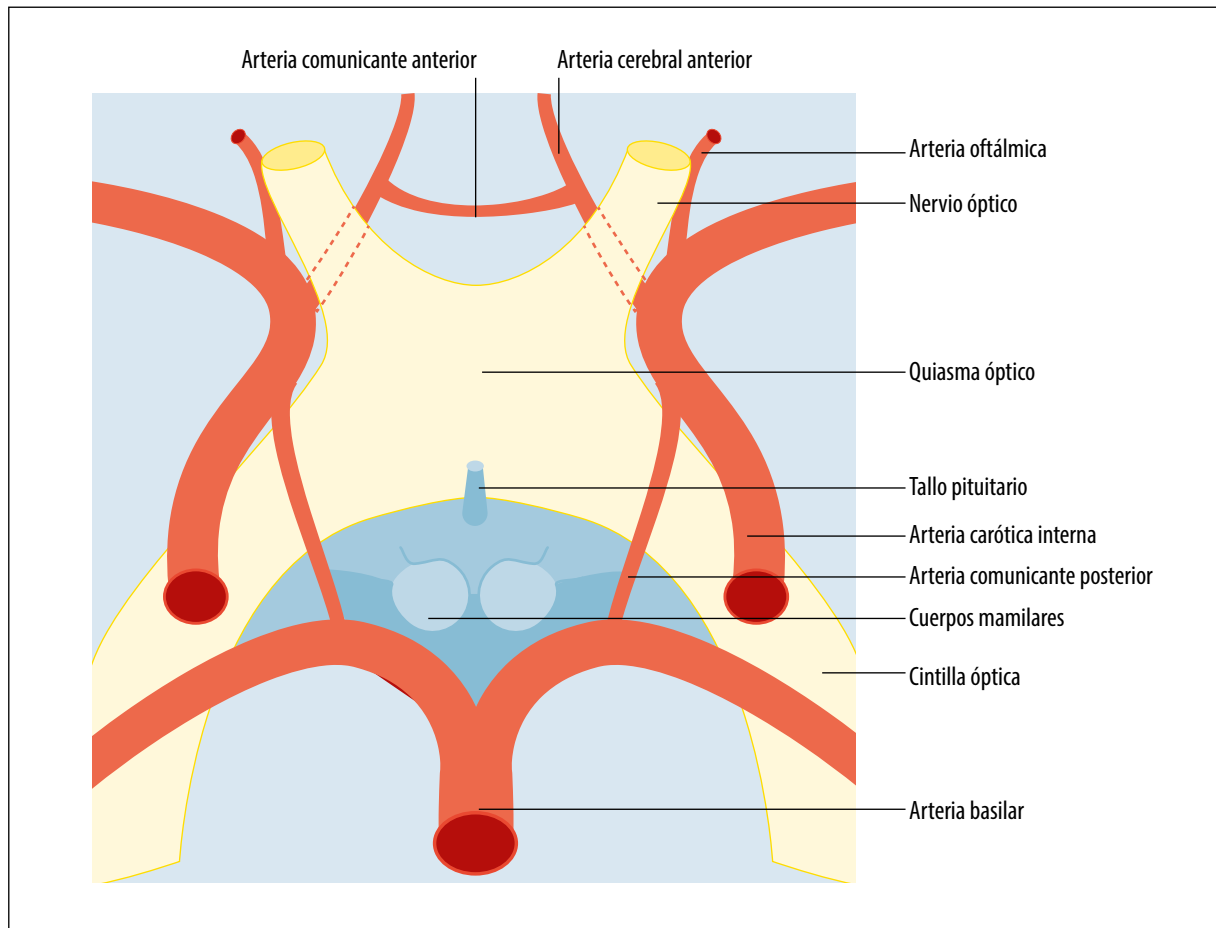


Figura 17. Quiasma. Relación con el polígono de Willis.

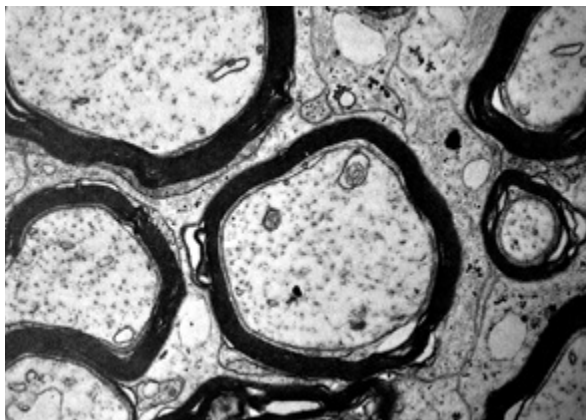


Figura 18. Histología del nervio óptico: se observa la capa de mielina que rodea a las fibras nerviosas.

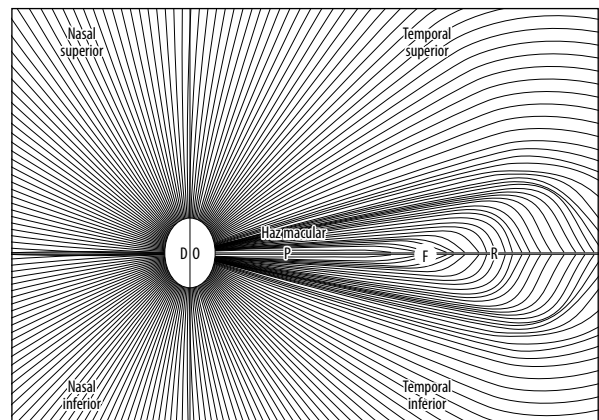


Figura 19. Esquema de fibras de la retina.

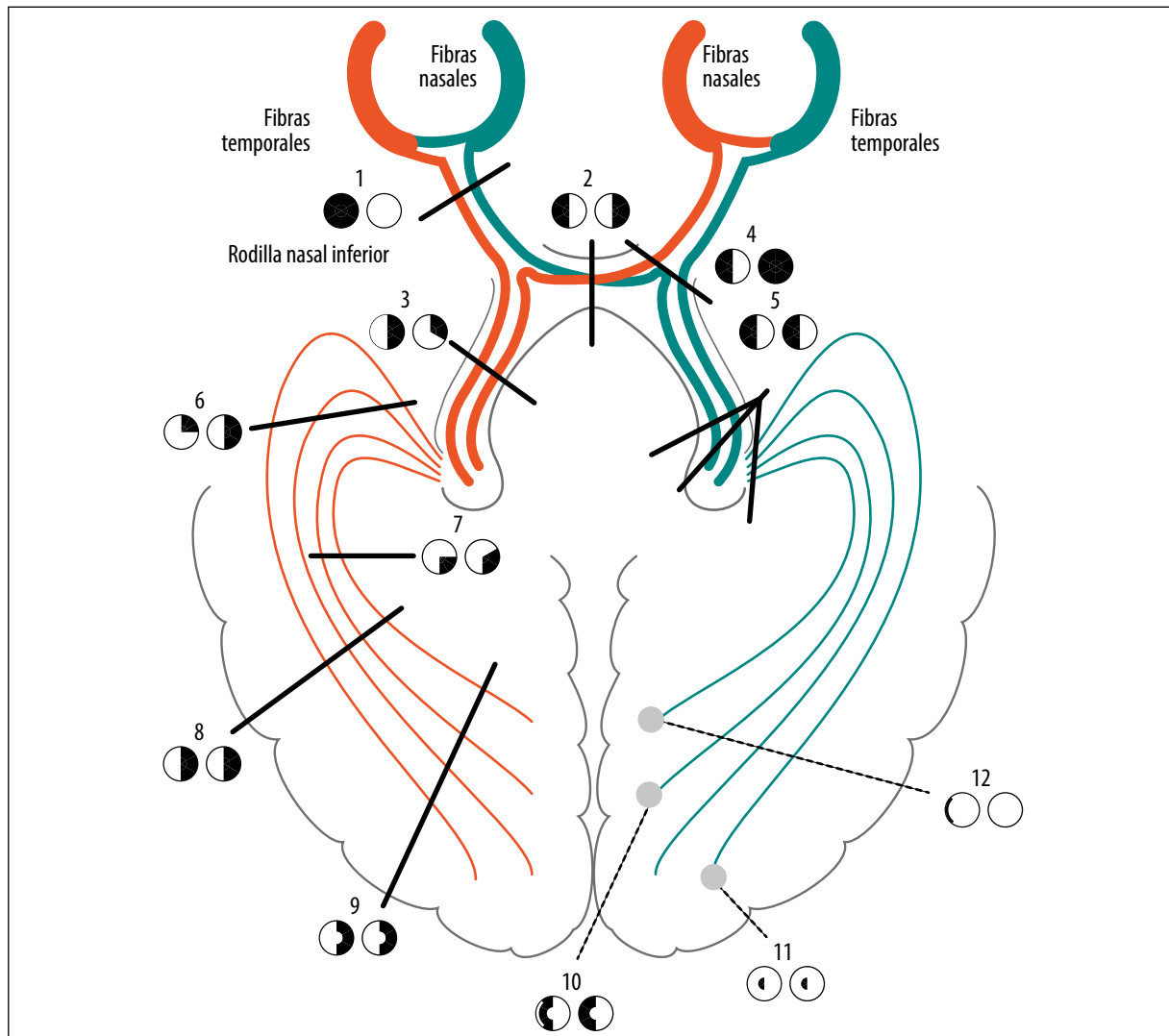


Figura 20. Esquema de las fibras en la vía óptica.

Mediante la cisterna basal se relacionan inferior y lateralmente con el lóbulo temporal (*gyrus uncal*) (figs. 21 y 22).

En la porción pósterio-lateral del tálamo cada cintilla se divide en:

a. Rama lateral (óptica): el 80% de estas fibras terminan en el cuerpo geniculado lateral-pulvinar del tálamo y tubérculo cuadrigémino anterior.

b. Rama medial (pupilar): que culmina en el cuerpo geniculado medio. Llevan diferentes vías:

- Vía visual: geniculado lateral.

- **Fascículo hipotalámico:** se separa detrás del quiasma y termina en el núcleo paraventricular (ritmo circadiano).

- **Fascículo pupilar:** se aparta posteriormente y se dirige ventralmente en relación con el geniculado medial al núcleo pretecal (reflejo fotomotor). Una parte entra al cuerpo geniculado medial formando la comisura de Gudden, que tiene una función desconocida.

Las cintillas contienen:

- ♦ Fibras temporales directas (homolaterales)

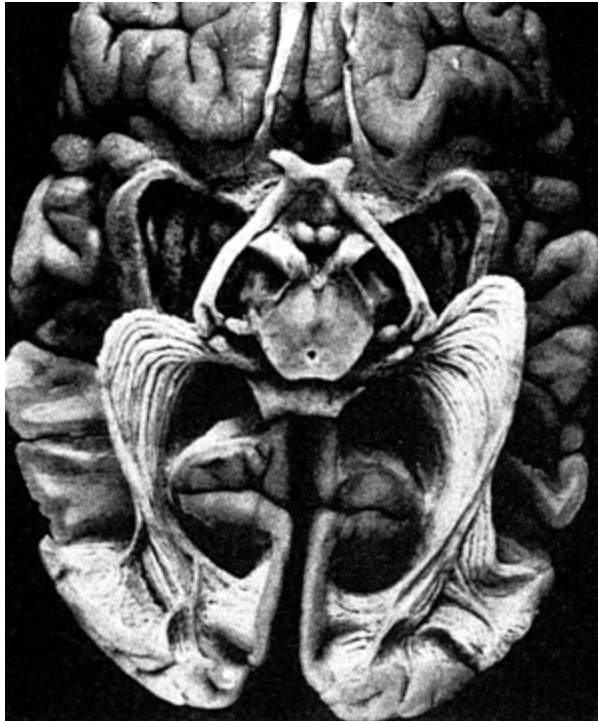


Figura 21. Anatomía de la vía óptica retroquiasmática

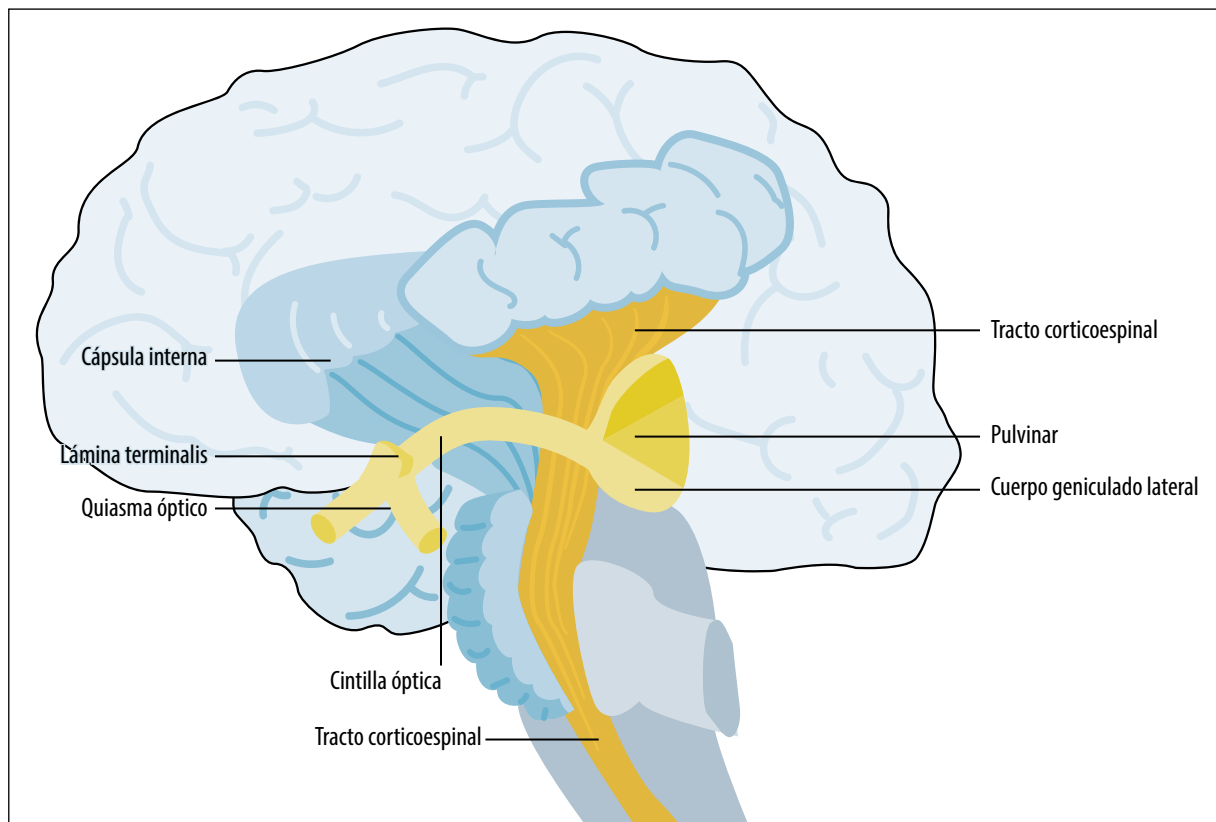


Figura 22. Cintillas ópticas. Relaciones anatómicas

- ♦ Fibras nasales cruzadas (contralaterales)
- ♦ Fibras maculares directas y cruzadas
- ♦ Fibras pupilares

Al acercarse al geniculado lateral se produce una rotación y las maculares se ubican dorso-mediales y las periféricas, ventro-laterales.

Irrigación

Al tercio anterior lo irrigan las ramas de la arteria carótida interna, la cerebral media y la comunicante posterior. Los dos tercios posteriores, la arteria coroidea anterior.

A partir de las cintillas los defectos que la lesión de la vía óptica genera en el campo visual son del tipo defecto homónimo: comprometen ambos hemicampos izquierdos o ambos derechos. Dado que la vía óptica retroquiasmática es muy extensa se deben analizar algunos elementos para tratar de localizar qué porción de la vía es la que se está afectada.

Elementos localizadores

- ♦ **Congruencia:** un defecto es congruente cuando el compromiso de ambos ojos es muy similar. Cuanto más congruente es el campo visual más posterior es la lesión.
- ♦ **Compromiso macular:** el compromiso del área central es más frecuente en las lesiones anteriores y su respeto es la norma en las lesiones posteriores, ya que los haces de fibras se hallan claramente diferenciados y se afectan aisladamente.
- ♦ **Tipo de defecto de campo visual (DCV):** en las cintillas son más frecuentes las hemianopsias; en las radiaciones, las cuadrantanopsias y en corteza pueden producirse ambos defectos o escotomas cuadrantanópicos o compromiso bilateral del CV central aislado.
- ♦ **Compromiso pupilar:** dado que la vía pupilar se separa antes de llegar al geniculado, si la pupila se halla comprometida y hay un DCV homónimo necesariamente debe estar afectada la cintilla pero puede ocurrir que se lesione sin compromiso pupilar, por lo que es un elemento localizador sólo cuando está presente.

Cuerpo geniculado lateral

Los cuerpos geniculados laterales (CGL) son dos formaciones de sustancia gris (uno a la derecha y otro a la izquierda). Pertenecen al complejo nuclear que conforma el tálamo óptico. Son la estación de sinapsis que conecta la retina con la corteza visual.

En el geniculado se produce la sinapsis entre los axones de las células ganglionares y las neuronas del geniculado, tercera neurona de la vía óptica, cuyos axones llegarán a la corteza occipital. Por ello, una lesión posgeniculada no produce atrofia óptica ni hay degeneración transináptica. A partir del geniculado la vía óptica es estrictamente unilateral (fig. 23).

Embriológicamente se originan en la porción anterior del tubo neural que corresponde al prosencéfalo. Cada CGL es una formación piramidal u ovalada situada en el tálamo lateral, por encima de la cisterna ambiens y por fuera y encima del pulvinar. Se encuentra rodeado lateralmente por las radiaciones ópticas y medialmente por las radiaciones acústicas.

Por delante y arriba se ubican los núcleos ventrales del tálamo; pósterio-lateral, el tracto espinotalámico y pósterio-medial, la vía trigeminal. Presentan una estructura interna estratificada, característica anatómica que se diferencia a partir del sexto mes de gestación. Como parte de la evolución filogenética, cada CGL está rotado 90 grados en sentido medial. Por lo tanto, los axones provenientes de la hemirretina superior hacen sinapsis en la región medial de cada núcleo y los de la hemirretina inferior completan su sinapsis lateralmente. Las fibras maculares ocupan la porción central de tales núcleos grises.

Las fibras pos-sinápticas que abandonan el CGL por la superficie pósterio-lateral rotan nuevamente 90 grados en sentido inverso (lateral o externo) dando origen a las radiaciones ópticas.

El CGL se divide anatómicamente en un núcleo anterior o ventral y otro posterior o dorsal. El primero no aparece con una función claramente definida, presenta un desarrollo pobre; mientras que

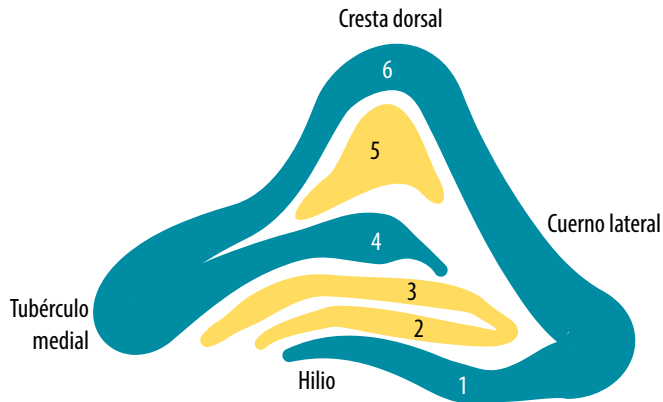


Figura 23. Cuerpo geniculado lateral (CGL)

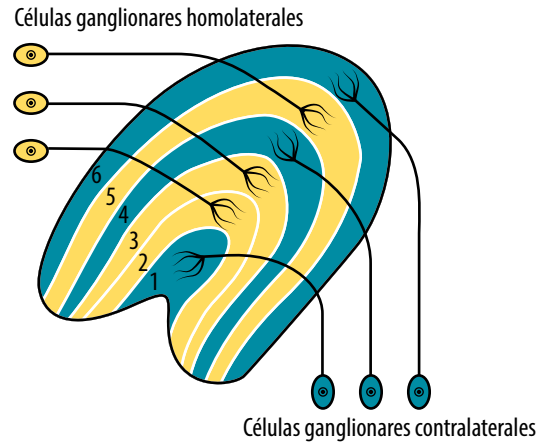


Figura 24. CGL y su relación con la retina: Distribución de fibras directas (retina homolateral) en las capas 2, 3 y 5 del CGL. Fibras cruzadas (contralaterales) en las capas 1, 4 y 6 del CGL.

el posterior, de mayor tamaño, está compuesto por una compleja estructura interna laminada.

Cada CGL presenta una doble circulación. Las porciones anterior y lateral están irrigadas por la arteria coroidea anterior (rama de la arteria carótida interna) y su porción posterior está asistida por la arteria coroidea media (rama de la cerebral posterior). Por ello es raro el compromiso vascular aislado de estas formaciones.

La estructura interna del núcleo posterior del CGL es laminada en humanos y primates superiores. Son seis láminas enumeradas del 1 al 6 en sentido ventro-dorsal. Su apariencia estriada es otorgada por la alternancia de una capa gris y una blanca. Las capas 1 y 2 (localizadas ventralmente) reciben neuronas tipo *magnocelulares* (células ganglionares P-alfa) y las capas 3, 4, 5 y 6 (de localización dorsal) reciben neuronas de tipo *parvocelulares* (células ganglionares P-beta) (fig. 24).

La aferencia retinal adopta en los CGL una organización tridimensional debido a dos principios anatómicos:

1. Las fibras retinales directas (ojo homolateral) hacen sinapsis en las láminas 2, 3 y 5. Las fibras cruzadas (ojo contralateral) completan su sinapsis en las láminas 1, 4 y 6 (fig. 25).
2. Puntos correspondientes de las retinas de ambos ojos se representan por células que hacen sinapsis en cada

una de las seis láminas formando columnas celulares verticales.

Las células ganglionares “X” —que transmiten información sobre color y contraste en condiciones fotópicas— hacen sinapsis en las neuronas parvocelulares (capas 3, 4, 5 y 6). Las células ganglionares “Y” —que transmiten información sobre contraste y ubicación espacial en condiciones mesópicas y escotópicas— hacen sinapsis con neuronas magnocelulares de las capas 1 y 2 de los CGL.

Las células ganglionares “W” no tienen una función definida. Su sinapsis se da en la lámina 3 de cada CGL y van directo al área V 1 del lóbulo occipital.

La mácula ocupa un área romboidal en los 3/4 caudales.

La cantidad de neuronas es similar al de células ganglionares en retina y se distinguen neuronas de transmisión e interneuronas.

Las proyecciones eferentes en primates, incluidos los humanos, se dirigen casi exclusivamente a la corteza visual.

El geniculado no es un simple transmisor del flujo de retina hacia la corteza sino que actúa ordenándolo y regulándolo. Por ello recibe no sólo aferencias retinales sino importantes aferencias no retinales, algunas de las cuales son excitadoras y otras inhibitorias.

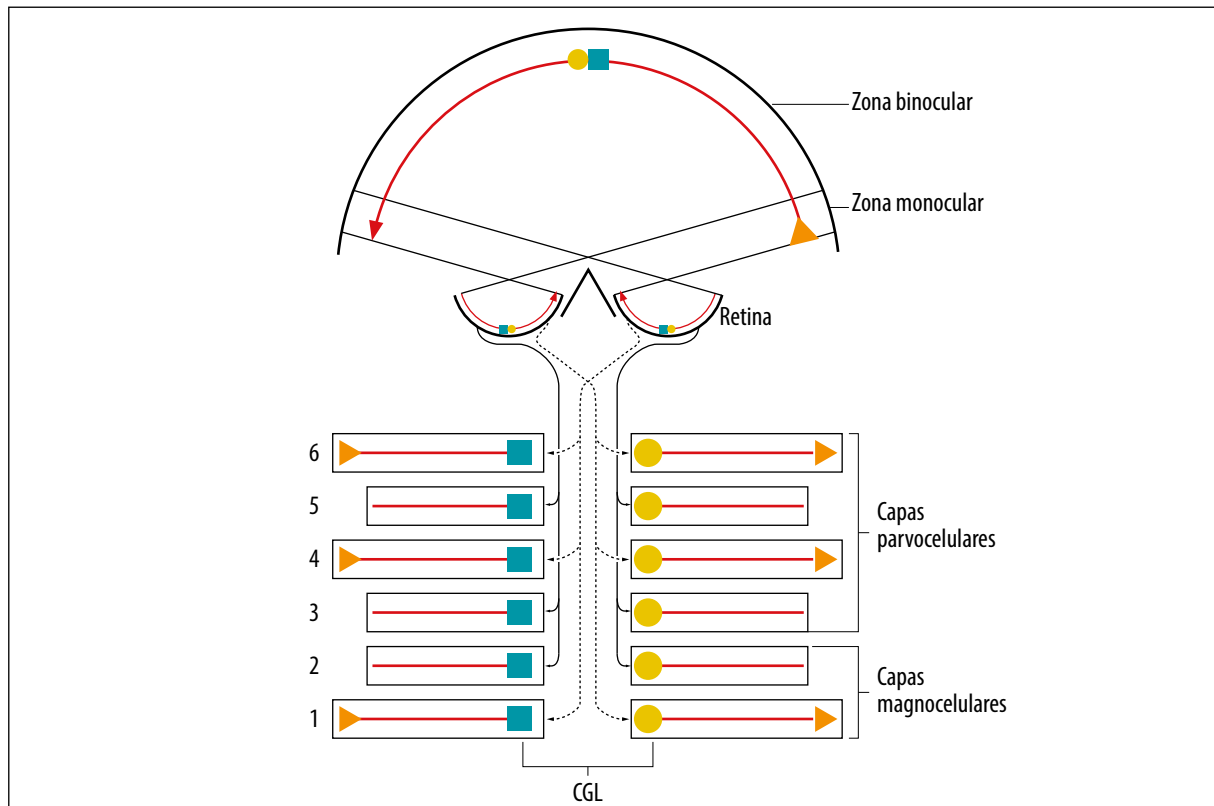


Figura 25. Estructura CGL: conexión de la retina con el cuerpo geniculado lateral (CGL). Células ganglionares alfa en sinapsis con las capas 1 y 2 del CGL. Células ganglionares beta en sinapsis con las capas 3, 4, 5 y 6 del CGL.

Aferencias retinales

X (parvocelular): campo receptivo pequeño: color-contraste-AV (fotópicas).

Y (magnocelular): campo receptivo grande: movimiento-flicker (mesópicas-escotópicas).

W (campo receptivo grande): conducción lenta: zonas interlaminares del G.L.: se proyectan al área VI (capa koniocelular).

Aferencias no retinales excitadoras (80%)

Vía córtico-geniculada (de capa VI de corteza visual primaria): da orientación topográfica. Conecta áreas de igual representación campimétrica retina-geniculado-corteza. Es excitadora, por lo que facilita la transmisión retina-G.L. Asimismo regula el nivel de atención visual y modula el flujo de corteza. Actúa en la supresión de los movimientos sacádicos.

Vía mesencéfalo-geniculada: se dirige a las zonas interlaminares (modula W) y conecta con P y M.

De núcleo parabraquial (colinérgico), *locus coeruleus* (noradrenérgica) y dorsal (serotoninérgica). Modulan el flujo.

Aferencias no retinales inhibitorias

Interneuronas (GABA)

Reciben la señal retinal y la reducen al transmitirla mediante una descarga de cloro que cierra la neurona de transmisión pos-sináptica durante parte de la conexión (tríada ganglionar-interneurona-neurona transmisión-G.L.).

Vía inhibitoria del tálamo (GABA)

El núcleo reticular recibe la aferencia del G.L. y se proyecta al mismo estableciendo un *feedback* inhibitorio.

La conexión se efectúa una ganglionar a una neurona de transmisión G.L. con la misma cualidad ON-OFF y cromática que su aferencia, pero hay una relación de transferencia no lineal: modula el potencial de acción retinal (transmite aproximadamente la mitad).

- ♦ Transmisión no lineal del contraste y *flicker*
- ♦ Control de excitación de cada punto del campo visual (visuotópico)
- ♦ Magnificación
- ♦ Células enlentecedoras (con demora de fase)
- ♦ Respuesta a estímulos complejos visuales y a estímulos auditivos, táctiles, músculos extraoculares, sacádicos.

Proyección del campo visual

Localización punto a punto:

- ♦ Área central: $\frac{3}{4}$ caudal G.L.
- ♦ Periferia: dos capas M y dos capas P (superior: medial; inferior: ventral)
- ♦ Medialuna monocular: una capa M y una capa P (ventral)

Organización en columnas de proyección: cada línea del campo visual está representada por columnas adyacentes en una escala de representación que disminuye con el aumento de excentricidad.

Vías paralelas: células ganglionares con diferente fisiología pueden representar el mismo punto espacial. Sus distintos flujos de información se transmiten en paralelo, algunos haciendo sinapsis en G.L. antes de llegar a corteza u otros centros visuales. Permite procesar separadamente distintos aspectos de la escena visual y ajustar el sistema de *feedback*.

Visión binocular: la información de cada ojo permanece separada en el G.L. que actúa como estación de alineación para la fusión binocular que se realiza en corteza.

Canales ON-OFF: se mantiene la distinción ON-OFF lo que permite la llegada de la señal a células corticales de orientación simple y allí efectuar la integración compleja.

Radiaciones ópticas

Las radiaciones ópticas, también llamadas tracto genículo-calcarino o tracto óptico, transmiten la aferencia del CGL a la corteza occipital primaria homolateral (área 17) a través de los lóbulos parietal y temporal, sin modificarla y sin efectuar sinapsis. Está comprobado que no existe cruzamiento de fibras visuales luego de la emergencia de las mismas en los CGL. Se ubican en forma directa, ya que las fibras vuelven a rotar 90° al emerger del CGL (fig. 26).

Se organizan en tres fascículos:

1. **Porción central:** cuadrantes dorsal y ventral de ambas hemimáculas homónimas. Va del segmento intermedio del geniculado al polo occipital.
2. **Porción superior o dorsal:** segmentos extramaculares superiores de ambas hemirretinas homónimas. Se extiende del segmento medial del geniculado al labio dorsal de la cisura calcarina pasando por el lóbulo parietal.
3. **Porción inferior o ventral:** segmentos extramaculares inferiores de ambas hemirretinas homónimas. Su recorrido va del segmento lateral del geniculado al labio ventral de la cisura calcarina. Sus fibras cursan por encima y alrededor de cada cuerno temporal de los ventrículos laterales, formando la radiación talámica posterior (parte de la cápsula interna), después rotan en sentido ántero-lateral formando una rodilla llamada asa de Meyer, para luego rectificarse en sentido posterior y alcanzar la corteza estriada.

Irrigación

La porción superior de las radiaciones ópticas es irrigada por la arteria cerebral media y la porción inferior es suplida por la arteria cerebral posterior, existiendo una intrincada malla de anastomosis entre ambos vasos, especialmente a nivel del lóbulo occipital. En corteza el aporte fundamental lo realiza la arteria calcarina pero llega también la rama óptica de la cerebral media. Esta doble irrigación protege a la corteza visual de los accidentes vasculares.

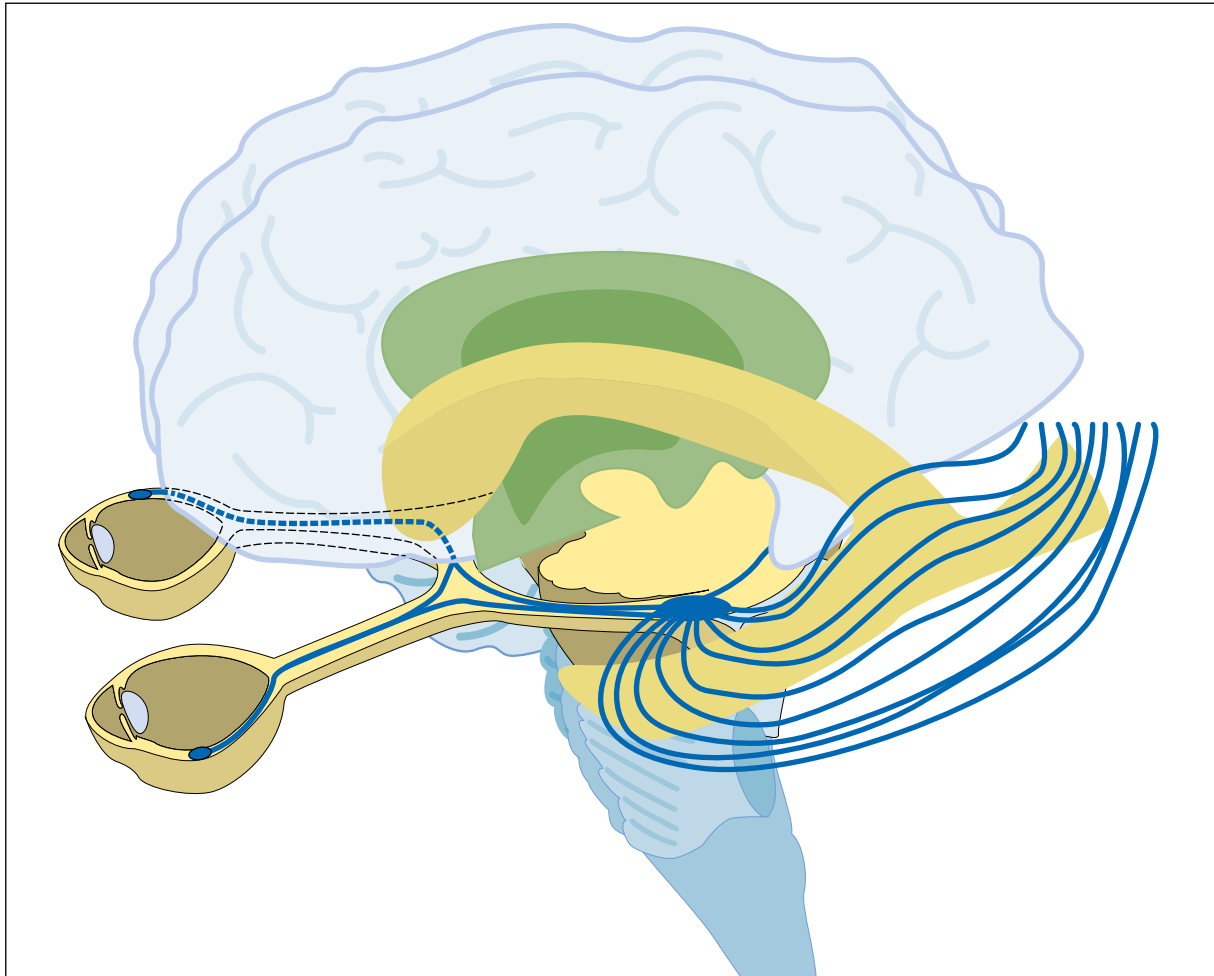


Figura 26. Radiaciones ópticas.

Corteza visual

Se organiza en una zona primaria ubicada en el lóbulo occipital (en la cisura calcarina) y áreas secundarias que se ubican en forma adyacente y excéntrica respecto de la corteza primaria.

Área V1: Corteza visual primaria. Corteza estriada

Área 17 de Brodmann

Se ubica en el polo occipital y a lo largo de los labios superior e inferior de la cisura calcarina

extendiéndose por la superficie pósteromedial del lóbulo occipital. La superficie correspondiente al área de proyección visual es aproximadamente entre 20 y 45 cm², lo que representa un 3,5% del área cortical cerebral total. Existen 150.000 células/mm³ en la corteza visual (figs. 27 y 28).

Sus principales conexiones se efectúan con el cuerpo geniculado lateral, el pulvinar, las áreas visuales secundarias y los *feedback* corticales.

La estructura celular es compleja diferenciándose dos tipos de neuronas: piramidal y no piramidal, distribuidas en una disposición estratificada de seis láminas.

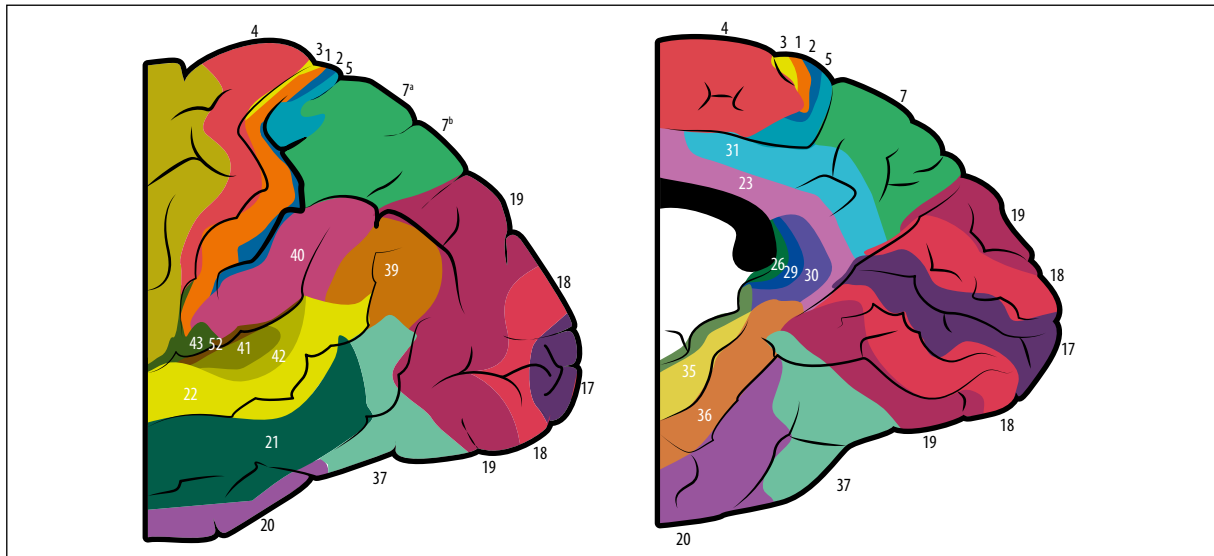


Figura 27. Esquema de la corteza visual: área estriada y extraestriada.

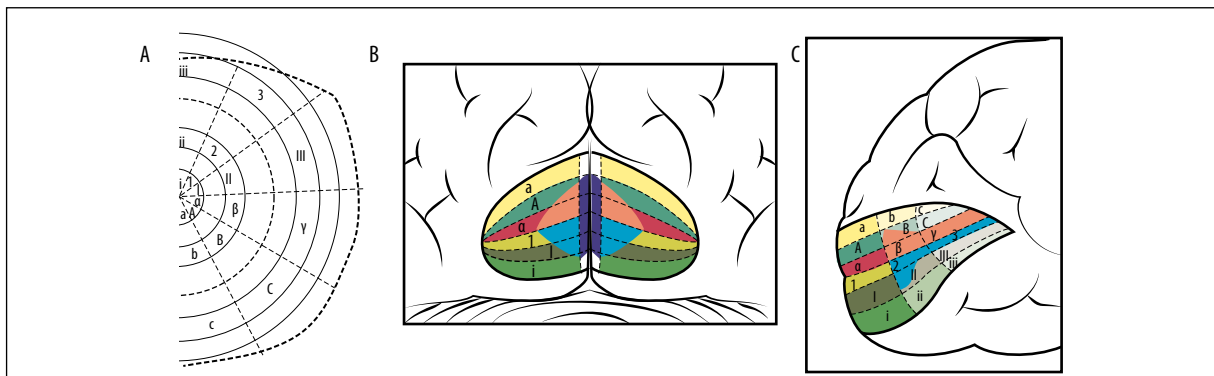


Figura 28. Proyección del campo visual en la corteza occipital.

- ◆ Lámina 1: *stratum moleculare*.
- ◆ Lámina 2: *lámina granularis externa*.
- ◆ Lámina 3: *lámina pyramidalis*.
- ◆ Lámina 4: *lámina granularis interna* (se subdivide en tres camadas: 4A, 4B, 4C. La camada 4C presenta una división interna: 4C alfa y 4C beta).
- ◆ Lámina 5: *lámina ganglionaris*.
- ◆ Lámina 6: *lámina multiformis*.

Las células se clasifican de acuerdo con su campo receptivo en:

- ◆ **Simples:** ON-OFF dispuestas en una banda central con una o dos bandas paralelas opuestas. Mayor sensibilidad.

dad a hendidura de luz con selectividad de orientación vertical-oblicua-horizontal.

- ◆ **Complejas:** orientación específica pero con sensibilidad al movimiento. Responde a dirección y velocidad.
- ◆ **Hipercomplejas:** el estímulo debe ser de una longitud específica y disminuye su respuesta cuando el estímulo llega al final de la porción ON del campo receptivo. Tienen propiedades espaciales y temporales similares a las ganglionares y G.L. Cada punto de la retina está representado por un punto en la corteza.

Organización y modulación

La unidad funcional es la hipercolumna que contiene grupos de columnas de orientación y de domi-

nancia ocular con la misma orientación y la misma posición del campo receptivo.

Binocularidad y columnas de dominancia ocular

Son perpendiculares a la superficie cortical y responden preferencialmente a un ojo. Los campos receptivos de cada retina se superponen perfectamente a nivel de corteza (excepto disparidad para estereopsis).

Cuando existe una ambliopía, si es por privación visual, las columnas correspondientes al ojo ambliope “se encogen” y se expanden las del otro ojo (¿interacción competitiva?).

Representación del campo visual

Se proyecta en zonas concéntricas desde el centro que representa a la mácula hacia la periferia: a) la mitad superior es dorsal y la mitad inferior ventral, y b) la mácula ocupa el polo posterior con representación unilateral (cada centro macular representa las dos mitades homolaterales de la mácula) (fig. 28).

Los 10 grados ocupan el 60% de la superficie cortical y genera 60% de la amplitud del P100 del potencial occipital evocado.

Representación del brillo

Hay integración espacial.

Representación del color

Las neuronas con poca selectividad de orientación pero con gran sensibilidad a longitud de onda están agrupadas físicamente para cada color.

Área V2: Corteza paraestriada. Área 18 de Brodmann (visomotora)

Se ubica en el lóbulo occipital adyacente al área V1. Se relaciona con las áreas 17 y 19 homolaterales y 18 y 19 contralaterales a través del cuerpo calloso: así, efectúa la integración de mitades opuestas de los CV.

Alrededor de la mitad de células del área V2 son selectivas para el color y unas pocas lo son para el sentido de la dirección y el cálculo de medidas.

Tiene conexiones con áreas de asociación prefrontales sensorias, motoras, auditivas y de la porción anterior del lóbulo temporal. Interviene en:

- ♦ la coordinación de la desviación ocular voluntaria por estímulos sensoriales visuales
- ♦ el inicio de los movimientos verticales y oblicuos
- ♦ el sistema de *feedback* córtico-geniculado
- ♦ la separación de la información de color, profundidad y forma y la envía a V4.

Corteza periestriada. Área 19 de Brodmann y áreas V3, V3A, V4, V5 y V6

Su ubicación es adyacente a V2 pero ya es parieto-temporal. Intervienen fundamentalmente en la integración y movimiento del estímulo.

Las áreas V3 y V3A no son sinónimos de área 19 de Brodmann. Forman parte del lóbulo parietal e inferiormente del lóbulo temporal. El 76% de las neuronas de esta área son específicas en la función de orientación y el 40% selectivas para la dirección. En tanto un 20% de las neuronas son selectivas para el color. Está asimismo programada para analizar movimiento y forma en condiciones de bajo contraste.

El área V4 es altamente especializada en el análisis del color. Procesa información casi exclusivamente de los 30 grados centrales del campo visual correspondientes al área retinal con mayor densidad de conos. Las células dedicadas al rojo-verde son tres veces más numerosas que las dedicadas al azul-amarillo.

El área V5, localizada en el sulcus temporal superior, se llama área MT (*medial temporal*, por sus siglas en inglés). En los humanos el 90% se dedican a procesar la dirección de un estímulo en movimiento. Su rol está relacionado con la detección de los movimientos rápidos y modulan la atención visual.

En cuanto al área V6, localizada medialmente a la corteza parietal, actúa en la representación espacial del cuerpo en relación con el medio, es decir, la posición relativa en el espacio.

Todas las áreas presentan complejas conexiones, paralelas y recíprocas.

En resumen: la mayor función de la corteza visual es combinar información de los dos ojos dando como resultado la binocularidad.

Es bueno reiterar que la visión central ocupa la mayor parte de la corteza estriada al punto que los 10 grados centrales del campo visual representan del 50% al 60% de la corteza estriada posterior.

El campo visual de 24-30° examina realmente la función del 80-83% de la corteza estriada.

A nivel de las células ganglionares, los campos perceptivos que envían información de luminosidad y color hacen sinapsis en los CGL y en la lámina 4 del área V1 con una distribución de tipo retinotópica. Los sistemas magnocelular y parvocelular, luego de hacer sinapsis en sendas láminas de los CGL, se proyectan en las láminas 4C alfa y 4C beta, respectivamente.

Aún se está por definir cómo el cerebro reconstruye las diferentes informaciones sobre la percepción visual de un objeto observado y lo hace consciente.

Bibliografía

- Bron AJ, Tripathi RC, Tripathi BJ. *Wolff's Anatomy of the eye and orbit*. 8th ed. London: Chapman & Hall Medical, 1997.
- Cotter JR. The visual pathway: an introduction to structure and organization. *En: Leibovic KN. Science of vision*. London: Springer, 1990, p. 3-15.
- Glaser JS, Sadun AA. Anatomía del sistema sensorial visual. *En: Glaser JS. Neurooftalmología*. Barcelona: Ediciones Científicas y Técnicas, 1993, p. 59-78.
- Lawton AW. Retrochiasmal pathways, higher cortical function, and nonorganic visual loss. *En: Yanoff M, Duker JS (eds.). Ophthalmology*. 2nd ed. St. Louis: Mosby, 2004, p. 1295-1303.
- Lent RL. *The visual system: from genesis to maturity*. Boston: Birkhäuser, 1992.
- Matsubara JA. Vías ópticas centrales. *En: Kaufman PL, Alm A (eds.). Adler fisiología del ojo: aplicación clínica*. 10a. ed. Madrid: Elsevier, 2004, p. 641-709.
- Miller NR [et al.]. *Walsh and Hoyt's Clinical neuro-ophthalmology*. 6th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 2005.
- Parr T, Friston KJ. The active construction of the visual world. *Neuropsychologia* 2017; 104: 92-101.
- Prasad S, Galetta SL. Anatomy and physiology of the afferent visual system. *En: Kennard C, Leigh RJ. Neuro-ophthalmology*. Edinburgh: Elsevier, 2011. (Handbook of clinical neurology; 102).
- Remington LA. *Clinical anatomy of the visual system*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1998.
- Rubin RM, Sadun AA, Pava A. Optic chiasm, parasellar region, and pituitary fossa. *En: Yanoff M, Duker JS. Ophthalmology*. 2nd ed. St. Louis: Mosby, 2004, p. 1286-1294.
- Sadun AA. The afferent visual system: anatomy and physiology. *En: Yanoff M, Duker JS (eds.). Ophthalmology*. 2nd ed. St. Louis: Mosby, 2004, p. 1249-1252.
- Trachtenberg JT, Stryker MP. Rapid anatomical plasticity of horizontal connections in the developing visual cortex. *J. Neurosci* 2001; 21: 3476-82.
- Wahler-Luck M, Schutz T, Kretschmann HJ. A new anatomical representation of the human visual pathways. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1991; 229: 201-205.
- Wybar K. The functional anatomy of the afferent visual pathways. *Trans Ophthalmol Soc UK* 1962; 82: 123-148.