

## Actualización desde la anatomía funcional y clínica del sistema visual: énfasis en la vía y la corteza visual

### Functional and clinical anatomy of the visual system: An update with emphasis on the visual pathway and cortex

Juan P. Neira-Gómez<sup>1</sup>, María J. Marín-Castro<sup>1,2</sup>, Valeria Guerra-Espinosa<sup>1</sup>, Alejandro Salazar-Grisales<sup>1</sup>, Alejandro Henao-Villada<sup>1</sup>, Julián Carvajal-Fernández<sup>2</sup> y Juan C. Suárez-Escudero<sup>1,2,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina, Escuela de Ciencias de la Salud (ECS), Universidad Pontificia Bolivariana (UPB); <sup>2</sup>Línea de Investigación en Discapacidad y Rehabilitación, Grupo de Investigación en Salud Pública, ECS-UPB; <sup>3</sup>Facultad de Psicología y Medicina, Universidad CES; <sup>4</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia

#### Resumen

El sistema visual está conformado por el globo ocular, la vía y la corteza visual. La integración de los tres soporta el espectro de las funciones visuales: agudeza visual, visión cromática, estereopsis y sensibilidad al contraste. Sin embargo, la vía y la corteza visual son las encargadas no solo de la transmisión y la interpretación básica de los estímulos visuales, sino también de su percepción y asociación de alto orden. La neuroanatomía regional, sistémica y funcional del sistema visual, en especial de la vía y la corteza visual, es fundamental para comprender los trastornos neurooftalmológicos. Se realiza una revisión de tema sobre la anatomía funcional y clínica del sistema visual centrada en la vía y la corteza visual. Se muestran aspectos históricos, conformación de la vía visual extracerebral e intracerebral, corteza visual primaria y extraestriada, con correlaciones clínicas de retina y nervio óptico, quiasma, tractos ópticos y núcleo geniculado lateral, radiaciones ópticas y corteza visual. La vía visual inicia desde los fotorreceptores en la retina, dividiéndose en un segmento extracerebral y otro intracerebral respecto al núcleo geniculado lateral, hasta su interconexión con la corteza visual primaria. La retina, la vía y la corteza visual poseen un alto nivel de organización y representación retinotópica tanto estructural como funcional, existiendo dentro del sistema visual varios subsistemas y conexiones, y cerca de 30 zonas corticales, con actividades específicas que permiten el fenómeno de la visión. Las lesiones de la vía visual en general afectan los campos visuales, y las lesiones corticales extraestriadas producen agnosias visuales.

**Palabras clave:** Anatomía. Neuroanatomía. Vías visuales. Corteza visual. Percepción visual. Trastornos de la visión.

#### Abstract

The visual system is conformed by the eyeball, visual pathway, and visual cortex. Their integration supports the spectrum of visual functions: visual acuity, chromatic vision, stereopsis and contrast sensitivity. However, the visual pathway and cortex are responsible not only for the transmission and basic interpretation of visual stimuli, but for their perception and high-order association. The regional, systemic and functional neuroanatomy of the visual system, especially of the visual pathway and cortex, are essential to understand neuro-ophthalmological disorders. This is a review article of the functional and clinical

#### Correspondencia:

\*Juan C. Suárez Escudero  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Campus de Robledo  
Medellín, Colombia  
E-mail: juanca.suarez@upb.edu.co

Fecha de recepción: 10-01-2021  
Fecha de aceptación: 01-02-2022  
DOI: 10.24875/RMO.M22000218

Disponible en internet: 04-04-2022  
Rev Mex Oftalmol. 2022;96(2):71-81  
[www.rmo.com.mx](http://www.rmo.com.mx)

0187-4519/© 2022 Sociedad Mexicana de Oftalmología. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

*anatomy of the visual system centered on the visual pathway and cortex. Historical aspects are discussed, as well as the conformation of the visual pathway and the primary and extrastriate visual cortex, with respective clinical correlations of the retina, optic nerve, chiasm, optic tracts and lateral geniculate nucleus, optic radiation and visual cortex. The visual pathway begins from the retinal photoreceptors, and it's divided into extra and intracerebral segments according to their position in regard to the lateral geniculate nucleus. The retina, pathway and visual cortex have a high level of organization and both a structural and functional retinotopic representation, existing several subsystems and connections within the visual system, and about 30 cortical zones, with specific activities that enable the phenomenon of vision. In general, visual pathway injuries affect the visual fields, and extrastriate cortical damages produce visual agnosias.*

**Keywords:** Anatomy. Neuroanatomy. Visual pathways. Visual cortex. Visual perception. Vision disorders.

## Introducción

El sistema visual, conformado por el globo ocular con sus tres capas (fibrosa, vascular y sensorial), la vía visual y las estructuras cerebrales como la corteza visual, permite y soporta las funciones visuales como la agudeza visual, que permite ver los detalles independientemente de la distancia del objeto; la visión cromática, que permite diferenciar objetos, tamaños y formas; la estereopsis para la percepción de la profundidad; la sensibilidad al contraste, para distinguir un objeto de su fondo, especialmente en situaciones de poca luz; y la visión de los campos visuales, tanto periférico como central<sup>1</sup>.

Dentro de sus componentes se destaca la vía y la corteza visual, constituida por los elementos que desde el globo ocular hasta la corteza cerebral permiten la transmisión, la interpretación, la percepción y la asociación de los estímulos visuales<sup>2,3</sup>. La información visual ingresa al globo ocular en forma de señales electromagnéticas que son recibidas y transducidas por los fotorreceptores de la retina en impulsos nerviosos, para posteriormente transmitirse por la vía visual hacia la corteza visual, donde tienen lugar la senso-percepción de las imágenes y la interpretación de elementos como la forma, la profundidad, el color y el movimiento<sup>4</sup>.

El conocimiento de la neuroanatomía regional, sistémica y funcional, en especial de la vía y la corteza visual, es importante para entender la semiología y la fisiopatología de los trastornos neurooftalmológicos que presentan los pacientes en la práctica clínica, y así llegar a un diagnóstico acertado<sup>5</sup>. Desde el punto de vista pedagógico, la anatomía del sistema visual es un tópico fundamental de la formación básica y especializada en ciencias de la salud, y por su extensión y complejidad, su enseñanza y aprendizaje representan un reto para docentes y estudiantes.

El objetivo de la presente revisión fue realizar una actualización y una descripción detallada de la

anatomía funcional del sistema visual centrada en los componentes de la vía visual, las conexiones dentro de la corteza visual y la correlación anatomoclínica de las lesiones que pueden presentarse a lo largo de este sistema, facilitando el aprendizaje y el enfoque diagnóstico de varios trastornos neurooftalmológicos.

## Aspectos históricos

La anatomía funcional del sistema visual se estudia desde inicios del siglo XX, cuando Gurewitsch y Chatschatuilan, en 1928, caracterizaron la citoarquitectura de la corteza cerebral en felinos, surgiendo así las primeras descripciones de las áreas 17 y 18<sup>6</sup>. A partir de entonces, inició una época en la que los estudios en gatos anestesiados y simios fueron protagonistas, cuando Daniel y Whitteridge establecieron la relación del volumen cortical entre tres áreas visuales (V1, V2 y V3)<sup>7</sup>.

Posteriormente, autores como Albus y Beckman discutieron sobre la variabilidad interindividual de la organización retinotópica de las áreas V2 y V3 en los felinos y su localización cortical<sup>8</sup>, contrastando resultados con otras investigaciones que descubrieron que, en roedores y simios, la organización retinotópica de V2 era diferente en comparación con los gatos<sup>9-12</sup>. En la década de 1980 se encontró que había más de tres áreas visuales en la neocorteza de gatos y simios<sup>13</sup>.

En 1998, Castelo-Branco et al.<sup>14</sup> realizaron grabaciones simultáneas de múltiples unidades desde las áreas 17 y 18, el núcleo geniculado lateral (NGL) y la retina, examinando las interacciones de los mecanismos de sincronización cortical y subcortical. Encontraron que las neuronas corticales pueden sincronizarse ante la actividad oscilatoria sobre el NGL, siendo esto de forma más pronunciada ante estímulos luminosos. Además, descubrieron que en respuesta a estímulos móviles existe una disociación en las oscilaciones corticales y subcorticales, probando la independencia de los mecanismos corticales y subcorticales de la visión y, a la misma vez, su interacción<sup>14</sup>.

## Descripción anatómica

### Conformación de la vía visual

La vía visual se organiza por medio de cuatro eslabones neuronales, iniciando en los fotorreceptores de la retina hasta llegar a la corteza visual. Las tres primeras células se encuentran ubicadas en la retina, y la cuarta está en el NGL del tálamo<sup>15-18</sup>.

Una vez los axones de las células ganglionares de la retina ingresan al disco óptico, la vía visual puede dividirse macroscópicamente en dos segmentos: el segmento extracerebral, que es evidente a simple vista entre el globo ocular y el tálamo, y el segmento intracerebral, que conforma un importante tracto al interior de la sustancia blanca de los hemisferios cerebrales<sup>2</sup>.

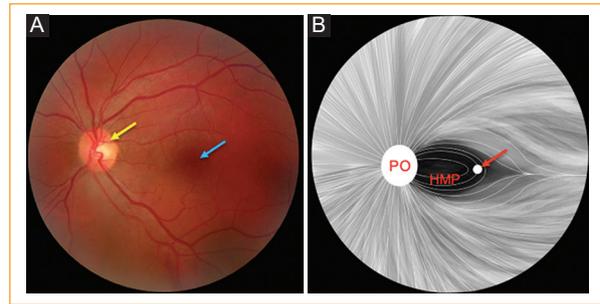
El segmento extracerebral comprende los nervios ópticos, el quiasma óptico y los tractos ópticos, que se dirigen primordialmente hacia el NGL en el tálamo. A partir de este punto inicia el segmento intracerebral, conformado principalmente por las radiaciones ópticas, destinadas a hacer sinapsis con las neuronas de la corteza visual primaria en ambos lóbulos occipitales.

### Vía extracerebral

La retina es la capa más interna del globo ocular y debe entenderse como una extensión del sistema nervioso central (SNC) al ser un derivado del neuroectodermo de la vesícula diencefálica<sup>3,19</sup>. Está conformada por diferentes tipos celulares, entre los que destacan las células pigmentadas, las células gliales, las neuronas amacrinas, las células interplexiformes y las neuronas horizontales<sup>20</sup>. Profundizar en la función de cada una excede la finalidad de la presente revisión; sin embargo, se hará énfasis en los fotorreceptores, las neuronas bipolares y las células ganglionares por su papel en el proceso de la sensación visual.

En el polo posterior de la retina se encuentra la mácula lútea, una zona de 5.5 mm de diámetro, en cuyo centro están la fóvea y la foveola, de 1.5 mm y 0.35 mm de diámetro, respectivamente. Esta última constituye el punto de máxima resolución visual<sup>21</sup>. Medial a la mácula está el disco o papila óptica, una zona de 1.5 mm de diámetro sin fotorreceptores, por donde los axones de las células ganglionares abandonan la retina para formar el nervio óptico<sup>2</sup> (Fig. 1).

Los fotorreceptores son el primer elemento neuronal de la vía<sup>16,22</sup>; son neuronas especializadas que contienen los pigmentos visuales y en sus funciones están la recepción y la transducción del estímulo luminoso



**Figura 1.** A: fondo de ojo izquierdo, donde se evidencian la papila óptica (flecha amarilla) y la mácula lútea (flecha azul). B: distribución y recorrido de las fibras nerviosas ganglionares de la retina desde cada cuadrante hacia la papila (PO). La región más oscura corresponde al haz maculopapilar (HMP), que contiene las fibras provenientes desde la mácula, la fóvea (flecha roja) y la foveola. (Echavarría S; 2020. Ilustración Figura 1, B. Distribución de las fibras nerviosas retinianas, original para este artículo.)

**Tabla 1.** Cuadro comparativo de los fotorreceptores de la retina<sup>20</sup>

Bastones	Conos
Visión escotópica	Visión fotópica
Monocromáticos	Cromáticos
Más fotopigmento (rodopsina)	Menos fotopigmento (conopsinas)
Alta sensibilidad a la luz	Baja sensibilidad a la luz
Baja resolución visual	Alta resolución visual

en forma de impulsos nerviosos. Se dividen en conos y bastones según su morfología, y funcionalmente tienen múltiples diferencias<sup>22,23</sup> (Tabla 1). La retina humana tiene cerca de 125 millones de bastones y 7 millones de conos<sup>2</sup>. El mayor número de conos se concentra hacia la región macular, llegando a ser el único fotorreceptor en la foveola. En contraste, los bastones se concentran en las regiones periféricas de la retina o retina no macular<sup>21,24</sup>.

Las segundas neuronas de la vía son las células bipolares, que sirven de enlace entre los fotorreceptores y las células ganglionares. Según la célula con que se conectan, se dividen en células para conos y células para bastones; el 90% de las primeras hace sinapsis con un solo cono, mientras que las segundas establecen conexión con múltiples bastones, por lo que tienen un mayor campo receptor<sup>16,24</sup>.

Las células ganglionares son el tercer eslabón de la vía óptica, conformando la conexión de la retina con el tallo cerebral y el diencefalo. Sus dendritas hacen sinapsis con la célula bipolar, mientras que sus axones se proyectan por la superficie interna de la retina y convergen en el disco óptico formando el nervio óptico<sup>25</sup> (Fig. 1).

Existen dos tipos de células ganglionares: P y M. Las de tipo P (parvocelulares) equivalen al 90% de las células ganglionares y establecen sinapsis con una sola neurona bipolar tipo cono, principalmente en la mácula. Las de tipo M (magnocelulares) se conectan con varias células ganglionares tipo bastón. De acuerdo con esto se establecen el sistema parvocelular, circuito que tiene menor campo receptor, pero gran discriminación y resolución visual, representando principalmente la visión macular; y el sistema magnocelular, que tiene un mayor campo receptor, pero menor capacidad discriminativa<sup>18,26</sup>. Estas propiedades hacen que el primero se encargue del procesamiento del color, la forma y el detalle de la escena, y el segundo de la localización y el movimiento de la imagen<sup>2</sup>.

Además de entender la conformación de la retina, desde el punto de vista funcional se debe comprender la organización topográfica del campo visual. La retina se divide en mitades temporal y nasal, y superior e inferior, al trazar una línea vertical por el centro del disco óptico. Lo anterior define cuatro cuadrantes que reciben cada uno una imagen de diferentes zonas del campo visual, y sus células ganglionares respectivas transmiten la información hacia el SNC<sup>22</sup>.

El campo visual derecho se proyecta en las hemirretinas nasal derecha y temporal izquierda, y el campo izquierdo lo hace en las hemirretinas temporal derecha y nasal izquierda. Las hemirretinas superiores reciben la mitad inferior del campo visual, y las inferiores, la imagen del campo visual superior. Se debe tener presente que, aunque la mácula hace parte de la hemirretina temporal, recibe la imagen proveniente del centro del campo visual, lo que se conoce como visión macular<sup>3,5</sup>.

Los nervios ópticos, conformados por 1.2 millones de axones cada uno, parten desde el polo posterior del globo ocular. Son considerados una evaginación embrionaria del SNC y, por ende, más que nervios periféricos son fascículos extracerebrales que conectan la retina con otros centros sinápticos de nivel central<sup>21,24,27</sup>.

Cada nervio óptico mide aproximadamente 5 cm de longitud y se puede dividir anatómicamente en cuatro porciones. La primera es la intraocular o cabeza del nervio óptico, que mide 1 mm<sup>22</sup>. La segunda es la porción intraorbitaria, que mide 25 mm y se encuentra en relación con las diferentes estructuras de la órbita. En

tercer lugar está la división intracanalicular, que mide 9 mm y atraviesa el conducto óptico del esfenoides. Y por último está la porción intracraneal, con una longitud de 15 mm y que termina en el quiasma óptico<sup>22</sup>.

El quiasma óptico es fundamental para la visión binocular. En él, los axones originados en las hemirretinas nasales, incluyendo la mitad nasal de la mácula, se decusan para conformar el tracto óptico contralateral. Esta decusación representa más de la mitad de las fibras del nervio y, al final, la proporción de fibras decusadas y no decusadas es de 53:47<sup>3,22,28</sup>. Por otra parte, los axones provenientes de las hemirretinas temporales discurren por las regiones laterales del quiasma sin decusarse y contribuyen a formar el tracto óptico del mismo lado<sup>29</sup>.

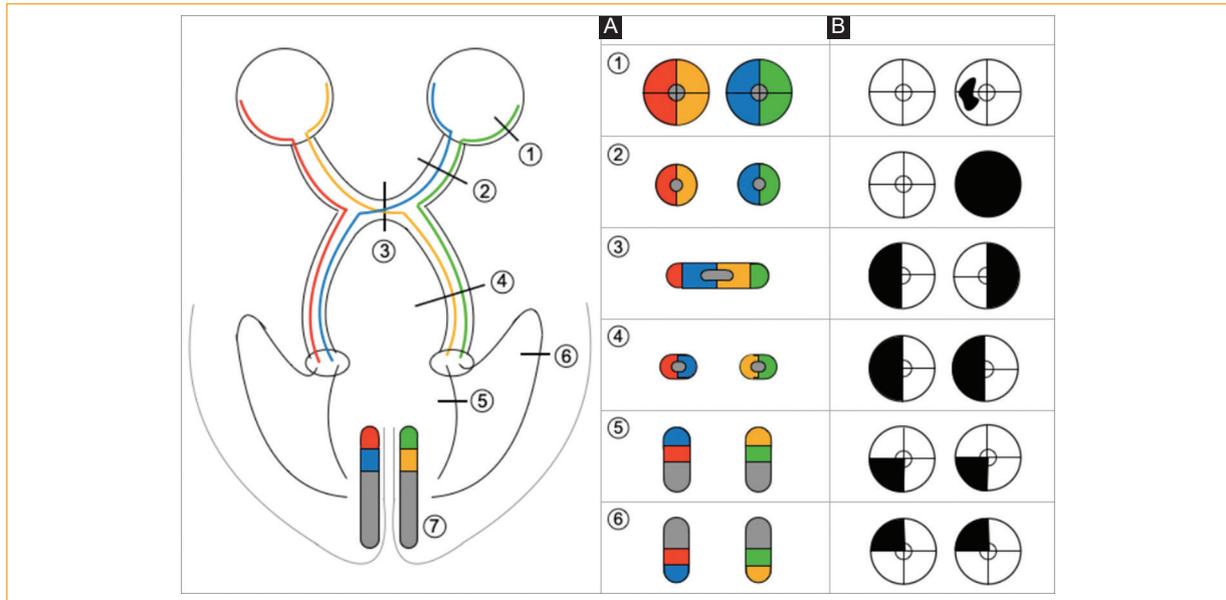
Teniendo en cuenta lo anterior, los tractos ópticos que emergen desde el ángulo dorsal del quiasma se dirigen hacia los NGL del tálamo, y están compuestos por fibras provenientes de ambos ojos, específicamente las fibras de la hemirretina temporal homolateral y las de la hemirretina nasal contralateral. Esto implica que el tracto óptico derecho contenga la información del hemicampo visual izquierdo, y que el tracto izquierdo contenga la del hemicampo visual derecho<sup>2,17,22</sup> (Fig. 2).

Adicionalmente, las fibras de las células ganglionares siguen una disposición retinotópica a lo largo de todo este recorrido. Esta distribución permite conservar el mapa retiniano de proyección del campo visual<sup>24</sup>. Como regla general, las fibras de la visión macular ocupan una posición central con respecto a las fibras periféricas<sup>2</sup>.

En el nervio óptico, las fibras temporales son laterales, las nasales son mediales, y las fibras de las retinas superior e inferior conservan esta misma disposición. En el quiasma óptico, las fibras provenientes de los cuadrantes nasales inferiores son anteriores, las de los cuadrantes nasales superiores son posteriores, y aquellas que provienen de la mitad nasal de la mácula son centrales<sup>22,29</sup>. Finalmente, en el tracto óptico, las fibras nasales de la retina contralateral se disponen mediales, y el resto de las fibras se ubican igual que en el nervio óptico<sup>2</sup> (Fig. 2).

## Vía intracerebral

La mayoría de las fibras de los tractos ópticos hacen sinapsis en los NGL, a partir de las cuales se originan las radiaciones ópticas dirigidas hacia la corteza visual primaria (V1)<sup>3,23</sup>. Estos núcleos conforman el cuarto eslabón de la vía visual y estructuralmente se organizan en seis capas, numeradas del I al VI de ventral a dorsal<sup>22</sup>.



**Figura 2.** Correlación clínico-anatómica del recorrido y la distribución de las fibras de la vía visual y los defectos campimétricos. La imagen de la izquierda describe el recorrido de la vía visual así: 1, retina; 2, nervio óptico; 3, quiasma; 4, tracto óptico; 5, radiaciones ópticas superiores; 6, radiaciones ópticas inferiores; y 7, corteza visual primaria. **A:** distribución retinotópica de las fibras en cada componente de la vía óptica en su corte coronal. El color rojo representa las fibras temporales izquierdas, el amarillo las nasales izquierdas, el azul las nasales derechas, el verde las temporales izquierdas y el gris las fibras de la visión macular. **B:** defectos campimétricos por el daño de cada eslabón de la vía visual derecha.

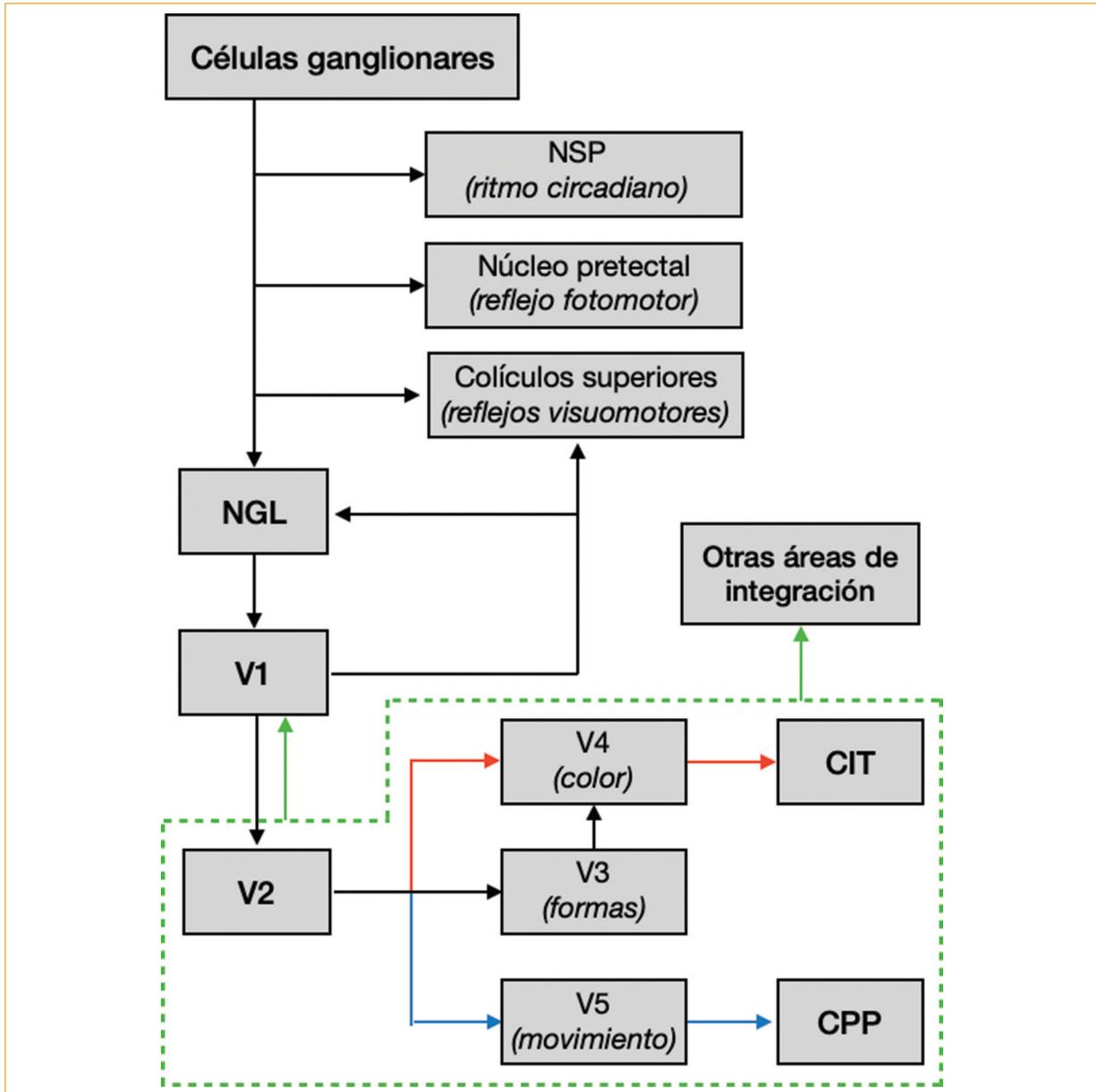
Las capas I y II hacen parte del sistema magnoceular y reciben la información de las células ganglionares M, mientras que las capas III a VI están conformadas por células del sistema parvocelular y reciben axones de las células P. En las capas I, IV y VI hacen sinapsis los axones provenientes de la hemirretina nasal contralateral, y en las capas II, III y V los axones provenientes de la hemirretina temporal homolateral. Así, cada NGL recibe la información del campo visual contralateral<sup>2,3</sup>. Solo el 5-10% de las aferencias totales de los NGL provienen de las células ganglionares; el resto provienen de conexiones talámicas y de la corteza visual para regular la información que viaja a través de la vía visual, lo que permite fijar la atención en un determinado objeto<sup>2,23</sup> (Fig. 3).

Las fibras de los tractos ópticos que no llegan a los NGL se proyectan hacia los colículos superiores mesencefálicos, el núcleo pretectal y el núcleo supraquiasmático hipotalámico. Las primeras descienden posteriormente por la vía tectoespinal o tectobulbar y hacen sinapsis con centros motores para mediar reflejos visuomotores; aunque hay un porcentaje que se dirige a núcleos talámicos para enviar impulsos a zonas extraestriadas de la corteza visual encargadas

de la detección de movimiento<sup>2</sup>. Por otra parte, las conexiones que llegan al núcleo pretectal viajan al núcleo de Edinger-Westphal para mediar el reflejo fotomotor. Las fibras que se dirigen al núcleo supraquiasmático ayudan a regular el ciclo circadiano mediante la percepción de cambios en la luz ambiental y el envío de señales a la glándula pineal<sup>2,23</sup> (Fig. 3).

A partir de los NGL emergen las radiaciones ópticas o de Gratiolet<sup>2</sup>, que están en estrecha relación con los ventrículos laterales y terminan en V1. Constan de dos haces: el superior, que atraviesa el lóbulo parietal y termina en el labio superior de la figura calcarina, llevando información proveniente de la retina superior; y el inferior, que atraviesa el lóbulo temporal, termina en el labio inferior de la fisura y brinda la información de la retina inferior<sup>18</sup>. Este último toma inicialmente una dirección anterior casi hasta el asta temporal del ventrículo lateral, para luego dirigirse hacia posterior, formando el asa de Meyer<sup>3,17</sup> (Fig. 2).

Las radiaciones ópticas poseen una organización retinotópica de la siguiente manera: en el haz superior, las fibras de la visión macular discurren por la región inferior, las fibras de la hemirretina nasal contralateral discurren por la región superior y las fibras de la



**Figura 3.** Flujo de la información visual desde las células ganglionares de la retina hasta las diferentes regiones del tallo cerebral y la corteza cerebral con sus respectivas funciones. Las líneas rojas corresponden a la «ruta del qué» y las azules a la «ruta del dónde». La línea punteada verde rodea los principales componentes de la corteza extraestriada. CIT: corteza inferotemporal; CPP: corteza parietal posterior; NGL: núcleo geniculado lateral; NSP: núcleo supraquiasmático.

hemirretina temporal homolateral están en la zona intermedia entre ambas fibras. En contraste, el haz inferior tiene una organización inversa. Según esto, la información de la retina inferior llega al labio inferior de la fisura calcarina y la de la retina superior llega al superior. Además, toda la información del campo visual izquierdo se proyecta en la corteza visual derecha, y viceversa<sup>2,17</sup> (Fig. 2).

### Corteza visual primaria (V1)

Finalmente, la información llega a la corteza visual, que junto con las demás áreas de asociación y procesamiento visual corresponden al 55% de toda la corteza cerebral<sup>21,23</sup>. Por sus múltiples conexiones corticales y subcorticales, se informa que la mitad de toda la información almacenada en el cerebro está relacionada de manera directa o indirecta con la

visión<sup>21,30</sup>. La corteza V1 se corresponde con el área 17 de Brodmann. También recibe el nombre de corteza estriada por presentar la estría de Gennari, conformada por axones muy mielinizados en su cuarta capa citoarquitectónica<sup>3,18</sup>. Esta corteza se conforma por seis laminas, de las cuales la IV se subdivide en IVA, IVB, IVC-alfa y IVC-beta<sup>20</sup>.

Las radiaciones llegan principalmente a la lámina IV, donde las fibras del sistema magnocelular hacen sinapsis en IVC-alfa y las del parvocelular en IVC-beta. Las capas I y II reciben fibras provenientes de otras áreas corticales<sup>18,20</sup>. La corteza estriada envía eferencias a diferentes regiones del SNC: las que se dirigen a otras áreas visuales proceden de las láminas II y III, y las que se dirigen a regiones subcorticales en el tallo y el tálamo proceden de las láminas V y VI<sup>2,20</sup>.

La corteza visual primaria se organiza adicionalmente en columnas perpendiculares que cumplen funciones determinadas, lo que permite dividir las en tres sistemas: las columnas de dominancia ocular, que aportan a la visión binocular y la percepción de profundidad; las columnas de orientación, encargadas de la percepción del movimiento; y las columnas que forman los *blobs*, que se encargan de la percepción cromática y son exclusivas de las láminas II y III. Entre los *blobs* hay unas zonas, denominadas *interblobs*, encargadas de la percepción de la forma y del detalle<sup>18,20</sup>.

La corteza estriada sigue una estricta organización retinotópica, donde la visión macular se dispone más posterior (hacia el polo occipital) y representa dos tercios de la corteza calcarina, y la visión periférica es más anterior y corresponde al tercio restante<sup>2,23</sup> (Fig. 2).

### Corteza extraestriada

En la corteza de los lóbulos occipitales hay múltiples mapas retinotópicos, además de V1, encargados del procesamiento de diferentes componentes de la imagen. Estos están ubicados en las áreas 18 (V2) y 19 (V3), el área occipitotemporal inferior (V4), mediotemporal (V5) y la corteza parietal posterior, entre otras. Así, toda la información visual está representada en más de 30 zonas distintas de la corteza cerebral que se conectan entre sí, formando una red global cortical de la visión<sup>2,20,31</sup>.

Las áreas de procesamiento inmediato del estímulo visual contienen neuronas con campos receptivos pequeños confinados al hemisferio visual contralateral, que proyectan información hacia las neuronas de áreas visuales extraestriadas que tienen campos receptivos más amplios y abarcan ambos hemisferios.

Dichas proyecciones pierden la disposición retinotópica e integran información del campo homolateral por medio de conexiones interhemisféricas que transmiten la información de las áreas de procesamiento inmediato contralaterales<sup>32</sup>.

Las áreas extraestriadas se especializan en detalles particulares de la escena visual y se organizan en dos rutas propuestas por Ungerleider y Mishkin en 1982: la vía dorsal y la vía ventral de la visión<sup>33</sup>. Dichas vías o rutas distribuyen la información proveniente de V1 hacia diferentes regiones corticales, y su origen está relacionado con la división de V2 en módulos o bandas: las bandas oscuras que reciben información proveniente de la capa IVb de V1, y las bandas delgadas y pálidas a las que llega la información desde los *blobs* y los *interblobs*, respectivamente<sup>2</sup>.

La corriente ventral se origina en la capa IVC-beta de V1, que envía proyecciones hacia los *blobs* y los *interblobs*, y desde allí hacia las bandas delgadas y pálidas de V2<sup>20</sup>. Estas regiones se proyectan posteriormente hacia V4 y finalmente hacia la corteza inferotemporal, donde las neuronas especializadas se encargan del procesamiento visual de los objetos, incluyendo la forma y el color (Fig. 3). Esta vía también se denomina «ruta del qué», y extrae características invariantes de un objeto visto que permiten la constancia perceptual en circunstancias variables<sup>20,34,35</sup>.

La ruta dorsal comienza en la capa IVC-alfa de V1, viaja a la capa IVb, luego a la banda oscura de V2 y envía conexiones hacia V5 para que finalmente la información llegue a la corteza parietal posterior<sup>2,20,36-39</sup> (Fig. 3). Por su protagonismo en el análisis del movimiento, esta ruta recibe el nombre de «ruta del dónde»<sup>18,23</sup>. Las áreas implicadas en esta vía procesan la información en latencias cortas, por lo que también se ha propuesto llamarla «cerebro rápido»<sup>40</sup>.

El descubrimiento de estas rutas o corrientes se logró por experimentos en simios con lesiones corticales selectivas. Aquellos con lesiones en la corteza temporal tenían déficit en la discriminación del color o la forma de los objetos, sin alteración en la ubicación visuoespacial. En cambio, los que tenían disfunción de la corteza parietal posterior manifestaban lo contrario<sup>41</sup>.

Se debe tener presente que el fenómeno cortical de la visión no termina en las áreas de las vías dorsal y ventral. La información visual es enviada desde ambas rutas hacia áreas con alto nivel de procesamiento, para su integración y asociación heteromodal, como la corteza entorrinal donde se forma la memoria a largo plazo de los objetos visuales, la corteza prefrontal para

la memoria de trabajo, la amígdala donde se establece el nexo emocional con el objeto percibido, la corteza occipital lateral importante en el procesamiento de los objetos y el reconocimiento de rostros, y el área parahipocampal especializada en el procesamiento de la escena<sup>42-47</sup>.

## Correlación clínica

Las patologías que involucran la vía óptica se manifiestan por alteraciones del campo visual, y las lesiones en las cortezas extraestriadas se manifiestan por agnosias visuales. Es aquí donde cobra importancia la anatomía funcional previamente revisada, pues según los hallazgos en la campimetría se puede establecer el punto afectado de la vía (Fig. 2). Una premisa importante es que los signos monoculares se deben a patologías prequiasmáticas, mientras que los binoculares se dan por lesiones que involucran el quiasma y las vías retroquiasmáticas<sup>3</sup>.

## Retina y nervio óptico

Las lesiones que afectan la retina o el nervio óptico provocan manifestaciones en el campo visual homolateral<sup>48</sup>. Los defectos del campo visual suelen manifestarse desde escotomas hasta anopsias, y se deben a un daño total de la retina o del nervio óptico<sup>3</sup>. Cuando las alteraciones afectan las fibras maculares, es común e importante la pérdida de la agudeza visual<sup>49</sup>.

El patrón del defecto en el campo visual depende sobre todo de la localización retiniana de las fibras afectadas. La neuritis óptica comúnmente genera escotomas centrales. El glaucoma de ángulo abierto puede cursar con escotomas arqueados, escotomas de Stedel o constricción del campo visual (visión en túnel) en etapas avanzadas. La neuropatía óptico-isquémica cursa con hemianopsias altitudinales<sup>3</sup>. En el desprendimiento de retina, es común que el paciente refiera un escotoma periférico en forma de cortina o telón<sup>50</sup>.

Las enfermedades retinianas suelen acompañarse de anomalías evidentes al examen oftalmoscópico. Algunos ejemplos son la retinopatía diabética, que suele cursar con hemorragias, edema, microaneurismas o exudados; las uveítis posteriores, que presentan manchas pálidas amarillentas o blanquecinas en el fondo de ojo; y la alteración de la pigmentación, atrofia coriorretiniana o estafilomas en los pacientes con degeneración miópica<sup>51</sup>.

Las enfermedades del nervio óptico pueden ser intrínsecas o extrínsecas, y pueden asociarse a un defecto del reflejo pupilar aferente<sup>48</sup>. Las enfermedades intrínsecas más relevantes son la neuritis óptica, que cursa con dolor y defectos en la visión cromática (principalmente del color rojo) y cuando afecta el disco óptico se asocia a papiledema; y la neuropatía óptico-isquémica, que cursa habitualmente con pérdida súbita e indolora de la visión monocular<sup>52-56</sup>. Por otro lado, las patologías extrínsecas son fenómenos compresivos de origen neoplásico, inflamatorio, infeccioso o traumático, que pueden asociarse también con proptosis, oftalmoplejía, dolor ocular y papiledema<sup>48</sup>.

## Quiasma, tracto óptico y núcleo geniculado lateral

El defecto característico por lesiones del quiasma es la hemianopsia heterónima bitemporal, debida a compresión central del quiasma, usualmente por masas hipofisarias<sup>4,48</sup>. El compromiso del ángulo anterior del quiasma cursa con hemianopsia temporal homolateral y cuadrantanopsia temporal contralateral. Esto se debe a la «rodilla de Willbrand», una zona donde las fibras nasales contralaterales decusadas invaden la región distal del nervio óptico contralateral antes de ingresar al tracto óptico. Sin embargo, la existencia de dicha estructura está muy debatida y se ha propuesto que es un fenómeno fáctico en cadáveres por enucleación<sup>22</sup>.

Las lesiones retroquiasmáticas producen defectos bilaterales homónimos del campo visual sin pérdida de agudeza visual<sup>56</sup>. Clínicamente debe sospecharse una lesión del tracto óptico si hay hemianopsia homónima más un defecto pupilar aferente relativo contralateral al lado de la lesión, con agudeza visual y visión en color normales<sup>56</sup>. Los tractos ópticos son susceptibles a lesiones que afectan el quiasma óptico, pero también pueden involucrarse en patologías que surgen en los lóbulos temporales y el mesencéfalo<sup>48</sup>. Las lesiones del NGL son menos frecuentes, suelen asociarse con cuadrantanopsias superiores o inferiores, y generalmente son el resultado de un infarto de la arteria coroides anterior o lateral<sup>57,58</sup>.

## Radiaciones ópticas

A lo largo de su recorrido, las radiaciones ópticas se pueden ver afectadas a menudo por lesiones principalmente de origen vascular o neoplásico. Si se afecta el haz inferior de las radiaciones, se desarrollará una

cuadrantanopsia homónima del campo visual superior contralateral, mientras que las lesiones del haz superior llevarán a una cuadrantanopsia homónima del campo visual inferior contralateral. En estas lesiones unilaterales retroquiasmáticas, el paciente conserva la agudeza visual porque la vía visual contralateral permanece intacta<sup>3,59</sup>. Entre las neoplasias más comunes se encuentran los tumores cerebrales primarios, los linfomas y las metástasis, en general de pulmón, mama o melanomas; sus manifestaciones suelen ser resultado de compresión por el efecto de masa. Los abscesos u otros procesos infecciosos neurológicos deben tenerse en cuenta principalmente en pacientes inmunosuprimidos<sup>60</sup>. Los trastornos degenerativos o inflamatorios no suelen afectar la sustancia blanca cerebral ni las radiaciones ópticas<sup>5</sup>.

### Corteza visual

Las lesiones que afectan el labio inferior de la corteza estriada producen el mismo defecto visual que los daños de las radiaciones inferiores. Lo mismo ocurre con lesiones del labio superior, que equivalen a una lesión del haz superior de las radiaciones ópticas<sup>18,24</sup>. Característicamente, si se afecta la región más anterior de la corteza estriada se generan compromisos monoculares temporales periféricos, llamados también síndrome del creciente temporal o media luna<sup>18</sup>. En cambio, las lesiones que comprometen el polo occipital producirán escotomas maculares homónimos contralaterales<sup>59</sup>.

En la corteza extraestriada, los tipos de alteraciones visuales dependen del área afectada y se encuentran en el espectro de las agnosias. La lesión de V4 causa acromatopsia cortical, que produce déficit en la visión cromática y suele ser de origen traumático y vascular isquémico. La lesión de V5 deriva en acinetopsia, con pérdida de la percepción del movimiento<sup>24</sup>. Tanto V3 como V4 participan en la percepción de las formas, por lo que las lesiones aisladas de V3 no suelen manifestarse como problemas de discriminación de las formas<sup>61</sup>.

El 40% de las hemianopsias homónimas son producidas por lesiones del lóbulo occipital, de las cuales el 70% tienen una etiología vascular<sup>18</sup>. Los defectos homónimos producidos por lesiones de la arteria calcarina no se asocian generalmente con compromiso de la visión macular<sup>59</sup>. Existe una preservación macular (*macular sparing* en inglés) que se explica por la irrigación dual del polo occipital, dada tanto por la arteria cerebral posterior como por una extensión de la arteria temporooccipital de la arteria cerebral media<sup>62</sup>.

Las ramas corticales de la arteria cerebral posterior irrigan principalmente el labio inferior de la fisura calcarina, por lo que sus eventos isquémicos suelen manifestarse como una hemianopsia homónima de los cuadrantes superiores<sup>59</sup>. En casos de hipoperfusión generalizada puede haber hemianopsia central homónima, debido a que el primer componente de la corteza en ser afectado corresponde a la visión macular, que está irrigada por circulación terminal<sup>18</sup>.

El síndrome de Anton Babinski o ceguera cortical se produce por lesiones que comprometen la totalidad de la corteza visual primaria<sup>5</sup>. Este causa una pérdida visual cerebral en compañía de negación del defecto visual por parte del paciente<sup>60</sup>.

### Conclusiones

El estudio de la anatomía funcional del sistema visual inició en 1928 con los trabajos de Gurewitsch y Chatschatuian, mediante la caracterización citoarquitectónica de la corteza cerebral en felinos.

Dentro de la conformación del sistema visual, se destacan la vía y la corteza visual, constituidas por varios subsistemas y conexiones entre la retina y la corteza cerebral, involucradas en los procesos de transmisión, interpretación, percepción y asociación de los estímulos visuales.

Las tres primeras células de la vía visual se ubican en la retina (fotorreceptores, bipolares y ganglionares), y la cuarta neurona está en el NGL del tálamo.

El segmento extracerebral de la vía visual comprende los nervios ópticos, el quiasma y los tractos ópticos que llegan al NGL. El segmento intracerebral está conformado por las conexiones del NGL y las radiaciones ópticas dirigidas a V1.

Las neuronas ganglionares de tipo P establecen sinapsis específicas con una sola neurona bipolar de tipo cono, y poseen menor campo receptor con gran discriminación y mayor resolución visual, para facilitar el procesamiento del color, la forma y el detalle de la escena. Las neuronas ganglionares de tipo M se conectan con varias células ganglionares de tipo bastón, y tienen mayor campo receptor con menor capacidad discriminativa, que facilitan la localización y el movimiento de la imagen.

La vía visual extracerebral e intracerebral, el NGL y la corteza V1 poseen un alto nivel de organización y representación retinotópica, necesario para los procesos de interpretación y percepción visual. La información visual está representada en más de 30

zonas distintas de la corteza cerebral que se conectan entre sí, formando una red global cortical de la visión.

## Financiamiento

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores públicos, comercial, o sin ánimo de lucro.

## Conflicto de intereses

Se declara la inexistencia de conflictos de intereses en los autores del manuscrito que hayan podido influir en su elaboración.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

## Bibliografía

- Informe mundial sobre la visión. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2020. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- García Porrero JA, Hurler JM, Ezquerro Polo L. Neuroanatomía humana. Madrid: Médica Panamericana; 2015.
- Saldarriaga AA, Cortés A, Armbrecht AM, Gutiérrez AM, Arango K. Fundamentos de cirugía: Oftalmología. Medellín, Colombia: Corporación para Investigaciones Biológicas; 2013.
- Winn HR, Youmans JR, editores. Youmans & Winn Neurological Surgery. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2017.
- Goldman L, Schafer AI. Goldman-Cecil Medicine. 26<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2020. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.clinicalkey.com/#!/browse/book/3-s2.0-C20161036684>
- Gurewitsch M, Chatschaturian A. Zur Cytoarchitektonik der Großhirnrinde der Feliden. Z Für Anat Entwicklungsgeschichte. 1928;87:100-38.
- Daniel PM, Whitteridge D. The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys. J Physiol. 1961;159:203-21.
- Albus K, Beckmann R. Second and third visual areas of the cat: interindividual variability in retinotopic arrangement and cortical location. J Physiol. 1980;299:247-76.
- Thompson JM, Woolsey CN, Talbot SA. Visual areas I and II of cerebral cortex of rabbit. J Neurophysiol. 1950;13:277-88.
- Adams AD, Forrester JM. The projection of the rat's visual field on the cerebral cortex. Q J Exp Physiol Cogn Med Sci. 1968;53:327-36.
- Dräger UC. Receptive fields of single cells and topography in mouse visual cortex: mouse visual cortex. J Comp Neurol. 1975;160:269-89.
- Allman JM, Kaas JH. The organization of the second visual area (V II) in the owl monkey: a second order transformation of the visual hemifield. Brain Res. 1974;76:247-65.
- Palmer LA, Rosenquist AC, Tusa RJ. The retinotopic organization of lateral suprasylvian visual areas in the cat. J Comp Neurol. 1978;177:237-56.
- Castelo-Branco M, Neuenschwander S, Singer W. Synchronization of visual responses between the cortex, lateral geniculate nucleus, and retina in the anesthetized cat. J Neurosci. 1998;18:6395-410.
- Remington LA, Remington LA. Clinical anatomy and physiology of the visual system. 3<sup>rd</sup> ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Butterworth Heinemann; 2012.
- Masland RH. The neuronal organization of the retina. Neuron. 2012;76:266-80.
- Snell RS. Neuroanatomía clínica. 6.ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2009.
- Joukal M. Anatomy of the human visual pathway. En: Skorkovská K, editor. Homonymous visual field defects. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 1-16. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-52284-5\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-52284-5_1)
- Forrester JV, Dick AD, McMenamin PG, Roberts F, Pearlman E. The eye: basic sciences in practice. 4<sup>th</sup> ed. Edinburgh, New York: Saunders/Elsevier; 2016.
- Cardinali DP. Neurociencia aplicada: sus fundamentos. Buenos Aires, Madrid: Médica Panamericana; 2007.
- Prasad S, Galetta SL. Anatomy and physiology of the afferent visual system. En: Handbook of clinical neurology. Philadelphia: Elsevier; 2011. p. 3-19. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444529039000078>
- Brazis PW, Masdeu JC, Biller J. Localization in clinical neurology. 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
- De Moraes CG. Anatomy of the visual pathways. J Glaucoma. 2013;22:S2-7.
- Bustamante BJ. Neuroanatomía funcional y clínica: atlas del sistema nervioso central. 5.ª ed. Bogotá: Editorial Médica Celsus; 2016.
- Murcia-Belmonte V, Erskine L. Wiring the binocular visual pathways. Int J Mol Sci. 2019;20:3282.
- Liu C-SJ, Bryan RN, Miki A, Woo JH, Liu GT, Elliott MA. Magnocellular and parvocellular visual pathways have different blood oxygen level-dependent signal time courses in human primary visual cortex. AJNR Am J Neuroradiol. 2006;27:1628-34.
- Wichmann W, Müller-Forell W. Anatomy of the visual system. Eur J Radiol. 2004;49:8-30.
- Kupfer C, Chumbley L, Downer JC. Quantitative histology of optic nerve, optic tract and lateral geniculate nucleus of man. J Anat. 1967;101:393-401.
- Kidd D. The optic chiasm. En: Handbook of clinical neurology. Philadelphia: Elsevier; 2011. p. 185-203. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444529039000133>
- Felleman DJ, Van Essen DC. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. Cereb Cortex. 1991;1:1-47.
- Grill-Spector K, Malach R. The human visual cortex. Annu Rev Neurosci. 2004;27:649-77.
- Land EH, Hubel DH, Livingstone MS, Perry SH, Burns MM. Colour-generating interactions across the corpus callosum. Nature. 1983;303:616-8.
- Ingle D, Goodale MA, Mansfield RJW, editores. Analysis of visual behavior. Cambridge, Mass: MIT Press; 1982.
- Ito M, Tamura H, Fujita I, Tanaka K. Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex. J Neurophysiol. 1995;73:218-26.
- Harnad SR, editor. Lateralization in the nervous system. New York: Academic Press; 1977.
- Shipp S, Zeki S. Segregation of pathways leading from area V2 to areas V4 and V5 of macaque monkey visual cortex. Nature. 1985;315:322-4.
- Sincich LC. Divided by cytochrome oxidase: a map of the projections from V1 to V2 in macaques. Science. 2002;295:1734-7.
- Boussaoud D, Ungerleider LG, Desimone R. Pathways for motion analysis: cortical connections of the medial superior temporal and fundus of the superior temporal visual areas in the macaque. J Comp Neurol. 1990;296:462-95.
- Tootell R, Reppas J, Kwong K, Malach R, Born R, Brady T, et al. Functional analysis of human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging. J Neurosci. 1995;15:3215-30.
- Rockland KS, Kaas JH, Peters A. Extrastriate cortex in primates. Boston: Springer-Verlag; 1997. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-1-4757-9627-8>
- Mishkin M, Ungerleider LG, Macko KA. Object vision and spatial vision: two cortical pathways. Trends Neurosci. 1983;6:414-7.
- Desimone R, Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention. Annu Rev Neurosci. 1995;18:193-222.
- Treue S, Maunsell JHR. Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. Nature. 1996;382:539-41.
- Reynolds JH, Pasternak T, Desimone R. Attention increases sensitivity of V4 neurons. Neuron. 2000;26:703-14.
- Epstein R, Kanwisher N. A cortical representation of the local visual environment. Nature. 1998;392:598-601.
- Tanaka K. Neuronal mechanisms of object recognition. Science. 1993;262:685-8.
- Grill-Spector K, Kourtzi Z, Kanwisher N. The lateral occipital complex and its role in object recognition. Vision Res. 2001;41:1409-22.
- Swienton DJ, Thomas AG. The visual pathway — functional anatomy and pathology. Semin Ultrasound CT MRI. 2014;35:487-503.
- Jaime Claramunt L. Desprendimiento de retina. Rev Médica Clínica Las Condes. 2010;21:956-60.

50. Gupta MP, Herzlich AA, Sauer T, Chan CC. Retinal anatomy and pathology. En: Nguyen QD, Rodrigues EB, Farah ME, Mieler WF, Do DV, editores. *Developments in ophthalmology*. Basel: Karger AG; 2015. p. 7-17. [citado 28 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.karger.com/Article/FullText/431128>
51. Franco Díez E, Adeva Alfonso J. *Manual AMIR Oftalmología*. 11.ª ed. Madrid: Academia de Estudios Mir; 2018.
52. Optic Neuritis Study Group. The clinical profile of optic neuritis: experience of the optic neuritis treatment trial. *Arch Ophthalmol*. 1991;109:1673.
53. Foroozan R, Buono LM, Savino PJ, Sergott RC. Acute demyelinating optic neuritis. *Curr Opin Ophthalmol*. 2002;13:375-80.
54. Katz B. The dyschromatopsia of optic neuritis: a descriptive analysis of data from the optic neuritis treatment trial. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1995;93:685-708.
55. Hayreh SS. Ischaemic optic neuropathy. *Indian J Ophthalmol*. 2000;48:171-94.
56. Miller NR, Walsh FB, Hoyt WF, editores. *Walsh and Hoyt's Clinical neuro-ophthalmology*. 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
57. Luco C, Hoppe A, Schweitzer M, Vicuna X, Fantin A. Visual field defects in vascular lesions of the lateral geniculate body. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1992;55:12-5.
58. Osborne BJ, Liu GT, Galetta SL. Geniculate quadruple sectoranopia. *Neurology*. 2006;66:E41-2.
59. Vaughan D, Asbury T, Riordan-Eva P, Cunningham ET, Domínguez Pérez A, Lugo Espinosa RL, et al. *Vaughan y Asbury Oftalmología general*. México: McGraw-Hill; 2012.
60. Adam A, Dixon AK, Gillard JH, Schaefer-Prokop C. Grainger & Allison's *Diagnostic radiology: a textbook of medical imaging*. 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone/Elsevier; 2014.
61. Jacas C. Rehabilitación de la percepción visual. En: *Informaciones psiquiátricas: publicación científica de los Centros de la Congregación de Hermanas Hospitalarias del Sagrado Corazón de Jesús*. Barcelona; 2014.
62. Vallejo Agudelo EO, Rendón Villa S, Colina Vargas A, Bustamante J, Suárez-Escudero JC. Revisión anatomofuncional de la neurología visual. Reporte de caso: discapacidad visual neurológica pos-TEC con hematomas subdurales subcrónicos bilaterales parietooccipitales. *Rev Mex Oftalmol*. 2016;90:33-42.