

¡Abre los ojos!

Concepción Lillo

*Ni Bowie tenía cada iris de diferente color, ni las pseudociencias mejorarán tu salud visual.
Descubre la (verdadera) ciencia detrás de tu mirada.*

NEXT—
DOOR...
PUBLISHERS

© De la Autora:
Concepción Lillo

© Next Door Publishers
Primera edición: mayo 2023

ISBN: 978-84-125659-2-8
DEPÓSITO LEGAL: NA 645-2023

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea mecánico, electrónico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

Next Door Publishers S.L.
c/ Emilio Arrieta, 5, entlo. dcha., 31002 Pamplona
Tel: 948 206 200
E-mail: info@nextdooreditores.com
www.nextdoorpublishers.com

Impreso por Estella Print
Impreso en España

Diseño de colección: Ex. Estudi
Autora del sciku: Laura Morrón Ruiz de Gordejuela
Editora: Laura Morrón Ruiz de Gordejuela
Corrección y composición: NEMO Edición y Comunicación, SL

Índice

- 1. Una mirada a la evolución** 13
- 2. Y tú, ¿cómo lo ves?** 25
- 3. Los colores no existen** 49
- 4. El color de tu mirada** 67
- 5. Problemas visuales** 81

- 6. La mirada del artista 119
- 7. Entendiendo lo que vemos 133
- 8. Visión animal 155
- 9. Una mirada al futuro 193

Refe- ren- cias

Los seres humanos somos animales muy visuales. En nuestro mundo, en nuestro hábitat, la visión juega un papel muy importante y, en la actualidad, la mayoría de nuestros sistemas de comunicación basan sus estrategias en captar la atención mediante la estimulación visual, principalmente.

Aunque el cerebro es el que ve, necesita ayuda para que el mundo que nos rodea llegue hasta él en forma de imágenes. Para ello, la retina hace de «traductor», transformando el mundo exterior en señales eléctricas que viajan por el nervio óptico hasta nuestro encéfalo para interpretarlas como imágenes. ¿Cómo lo hemos conseguido?

1

Una mirada a la evolución

Persianas de la verdad
Ventanas de las mentiras
Cañería de lágrimas
Desagües de las risas

Cortinas de los pecados
Vendas de las heridas
No son ojos porque los ves,
son ojos porque te miran
(*Ojos*, Los Suaves).¹

«Y, entonces, se hizo la luz». No te has equivocado de libro, pero es que tenía que empezar así. En estas páginas no vas a encontrar una tesis sobre la idea religiosa de la creación; simplemente, he creído que era una buena metáfora —además de un comienzo muy poético— para empezar a hablar de miradas y visión..., abriendo los ojos a esa luz, la responsable de que en los organismos se desarrollaran sensores y órganos especializados en percibir y aprovecharse de esos estímulos luminosos. Porque, en verdad, los órganos visuales representan una tremenda ventaja evolutiva y, si disponemos de ellos —nosotros y los

1. Enlace a Spotify: <<https://open.spotify.com/track/0u7Js8zgS5qdBwdr1yYtEG?si=9d5e9b8d659840bd>>.

animales en general—, es porque en su momento supusieron una mejora ventajosa para las distintas especies. Adentrémonos, pues, en el mundo de la visión empezando, eso sí, por el principio: ¿cómo surgió?

Contamos con pocos datos reales —por falta de suficientes registros fósiles de órganos blandos—² pero con muchos indicios de que el ojo primitivo fue una estructura muy sencilla, un simple detector de luz originado hace unos seiscientos millones de años, probablemente para modular y regular actividades simples, como ajustar los ritmos circadianos. Para ese organismo, esto supuso una ventaja frente a sus congéneres; ya sabemos que, en la teoría de la evolución, se dice que, si algo funciona y supone una mejora, se mantendrá como característica heredable de ese organismo. Por las variedades de ojos y miradas que han llegado hasta nuestros días, sabemos que esa primera estructura fotosensible experimentó, a lo largo de la evolución, distintas adaptaciones, en función de los organismos que han ido poblando los rincones del planeta.

No sé a ti, pero a mí el ojo me parece perfecto. Y no soy la única, ya que esta impresión la comparto con el mismísimo Charles Darwin: ¡ahí es nada! No solo eso, porque a Darwin la visión y el ojo le parecían tan perfectos que llegó a dudar de que su *teoría de la evolución* fuera universal y se cumpliera en todo lo vivo. En *El origen de las especies* (1859), su obra cumbre en la que se sustenta la teoría de la evolución, Darwin dedicó el capítulo 6 a lo que él consideró «dificultades en la teoría», donde describe algunos órganos y componentes de los seres vivos cuyos orígenes, según relató, se escapaban de los razonamientos generales del fundamento de su obra. En ese capítulo, Darwin incluyó el ojo y el funcionamiento del sistema

2. Los órganos blandos son aquellos compuestos por tejidos como músculos, tendones, articulaciones, etc., y que, a diferencia de los duros, como los huesos, no suelen fosilizarse.

visual en el apartado «Órganos de extrema complejidad y perfección», lo que deja patente los conflictos que le generaba. Al parecer, la complejidad funcional de la visión provocó que se tambaleara su archiconocida «teoría de la evolución». Tanto es así que sus palabras textuales en *El origen de las especies* fueron: «Suponer que el ojo, con toda su inimitable complejidad para ajustar su centro focal a distintas distancias, para reconocer diferentes cantidades de luz y para corregir las desviaciones esféricas y cromáticas, pudiera haber sido formado por la selección natural parece, y lo confieso francamente, absurdo en sobremanera». De esta forma, en algún momento —fijaos bien en lo que digo—, el padre de la teoría de la evolución dudó de ella al analizar el ojo y el sistema visual, dado que llegó a pensar que su desarrollo pudo haber sido diseñado a propósito.

Es cierto que, en ciencia, una teoría constituye el grado más alto de certeza alcanzable, siempre que se cumplan los principios de la falsabilidad, pero, en el caso de la *teoría de la evolución* de Darwin, sus evidencias —es decir, los pilares que la sustentan— son de las más sólidas. Pues bien, incluso sabiendo esto, la evolución de las miradas de los animales que pueblan nuestro planeta ha supuesto una de las grandes incógnitas de la ciencia durante muchos años, no solo para Darwin. La comprensión y la explicación del sistema visual fue también un enigma para don Santiago Ramón y Cajal, nuestro neurocientífico más internacional y reconocido, que confesó en su obra por antonomasia sobre este órgano, *La retina de los vertebrados* (*La Rétine des vertébrés*, 1893), que la complejidad de la visión lo había hecho dudar de su fe en el darwinismo. También él. No me extraña ya que, no en vano, el ojo es un órgano tan complejo que los creacionistas defensores del diseño inteligente lo consideran un ejemplo fundamental de la *complejidad irreductible*; un sistema que no puede funcionar en ausencia de alguno de sus componentes, por lo que, entonces, no pudo haber evolucionado a partir de una forma más primitiva.

Pero no quiero confundiros más. A pesar de todas las dudas de los más grandes pensadores, la realidad es que la evolución del ojo, con las herramientas y conocimientos con los que contamos hoy día, no supone en absoluto un misterio. No lo sabemos todo sobre la visión —eso por descontado, dado que existen multitud de especies animales que han desarrollado muy diversos tipos de ojos y un procesamiento visual que aún nos quedan por comprender—, pero el hecho de que todos ellos se acojan a la teoría de la evolución ya no se cuestiona; se halla fuera de toda duda. Sin embargo, el ojo sigue en el punto de mira —nunca mejor dicho— de los creacionistas, quienes defienden también en la actualidad que, al representar un sistema perfecto, solo puede ser el resultado de la obra de un Creador Supremo, y nunca del azar o la presión ambiental. Por su lado, los evolucionistas mantienen que los mecanismos de adaptación a corto y largo plazo explican, por sí solos, la especialización de los muy diversos sistemas visuales y que han conformado ventajas de supervivencia en sus respectivos hábitats; es decir, representan la causa de su origen.

A lo largo de la evolución, pequeñas mejoras visuales, como la percepción de distintas intensidades de luz, o más sofisticadas, como la generación de una imagen nítida, la detección de distintos colores o formas tridimensionales, implicarían una ventaja importante para el mejor desarrollo de una especie; por ejemplo, poseer un campo visual amplio es una característica común a la mayoría de las especies —desde los insectos hasta los mamíferos— y parece de verdad resultar importante para la supervivencia, ya que permite abarcar visualmente una mayor área alrededor de un individuo, lo que redundaría a su vez en un mayor éxito para las tareas básicas, como la defensa o la locomoción. Por el contrario, la fovea, la zona de la retina especializada en la visión de los detalles y que proporciona la agudeza visual —en el humano y otros seres vivos—, se usa para tareas relacionadas con el instinto depredador, como la detección a distancia o el reconocimiento, aunque solo la ostentan algunas especies animales. A

continuación, trataré algunas de todas estas adaptaciones —simples o complejas— para cada ambiente; en concreto, las que más curiosidad me han suscitado.

El ojo humano —y de los vertebrados en general— es un órgano extremadamente complejo, que funciona como una cámara que capta y redirige la luz a una zona sensorial, la retina, donde se hallan los fotorreceptores, células capaces de convertir la información luminosa en una señal eléctrica que entiende el cerebro, la cual traducirá en imágenes, colores, contornos, movimiento y profundidad. Como estos fotorreceptores acaparan el protagonismo en el libro, de momento, los introduzco aquí, pero no me detengo mucho más con ellos porque, en cada capítulo, se te irán desvelando sus funciones, características, tipos, debilidades, sensibilidades, necesidades, etc. Ahora nos centraremos en las clases de ojos que hay. No todos resultan igual de complejos, aunque el propósito final sea el mismo: entender y aprovechar la luz. Existe una enorme variedad, así como diferentes sistemas de percepción visual: desde los que nos parecen más sencillos —aunque, para los animales que los poseen, desempeñan las funciones perceptivas necesarias— hasta los más sofisticados. Aunque hay una gran variedad y riqueza de formas y estructuras oculares en el planeta, el modo en que las células sensibles a la luz reaccionan a este estímulo y cómo la percepción visual se integra resulta muy similar en los distintos organismos, a pesar de contar con orígenes evolutivos distintos. Tanto es así que se dice que el órgano visual es el sentido que más veces se ha reinventado en la naturaleza.

Para tratar de desentrañar las evidencias del origen evolutivo de los distintos tipos de ojos, nos sumergiremos en las evidencias. ¿Cómo se piensa que ha evolucionado la visión en los diferentes organismos? Aunque ya mencionaba al principio que este reto entraña cierta dificultad, porque los tejidos blandos no dejan restos fósiles evidentes, sí podemos comparar las estructuras oculares y el desarrollo embrionario del ojo en las distintas especies —en cuanto a la

¡Abre los ojos!

morfología y expresión de genes—, lo que ha ayudado a realizar importantes hallazgos sobre su origen. Estos análisis sugieren que el ojo en forma de cámara —el ojo humano y el de muchos otros vertebrados e invertebrados— tardó en originarse unos cien millones de años. Antes de adquirir todos esos elementos de órgano visual complejo, el ojo primitivo actuaba probablemente como un sencillo detector de luz, que serviría para modular y regular actividades simples, caso del ajuste de los ritmos circadianos.

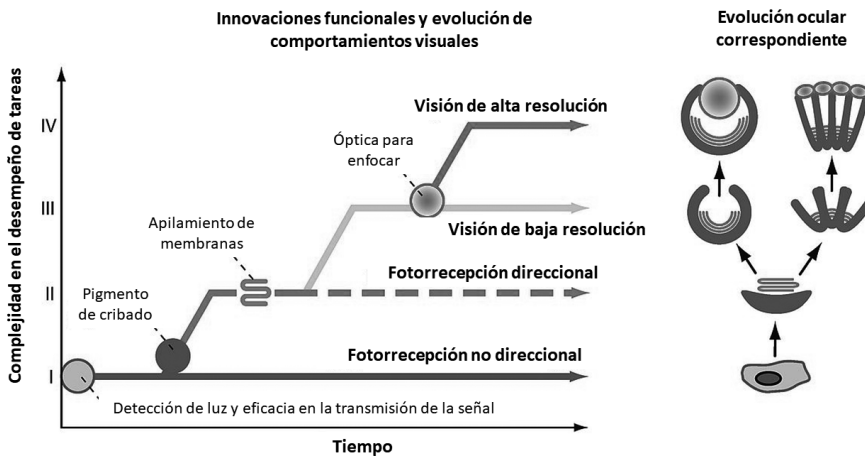


Figura 1.1. Imagen de la evolución de los ojos. Modificada de D. Nilsson, «Eye evolution and its functional basis», *Visual Neuroscience* (2013), 30(1-2), pp. 5-20. <doi:10.1017/S0952523813000035>.

Lo primero que se debe considerar es que los animales pluricelulares sencillos, en sus orígenes, divergieron en dos grupos principales: aquellos con simetría radial, sin parte anterior ni posterior —como las actuales estrellas de mar, esponjas o medusas—, y aquellos otros con simetría bilateral, conformados por dos lados especulares y una región anterior o cefálica. Estos últimos posteriormente se diversificaron en invertebrados y vertebrados, lo que originaría la mayoría de las especies animales actuales. Las evidencias nos ponen en la pista de que el primer ojo generado en la evolución se parecería al de los

cnidarios o algunos moluscos actuales. Aquel primer receptor de luz probablemente derivó de un receptor térmico o táctil, formado por células modificadas de la propia superficie del organismo, capaces de recibir y reaccionar a cambios lumínicos; es decir, se trataría de una pequeña área plana especializada en captar la luz con esta ventaja frente a los demás, ya que podría responder con anticipación o de una forma más adecuada a los estímulos externos.

El siguiente paso, y que supuso una ventaja evolutiva importante, fue la formación de una copa a partir de esa lámina plana superficial. La gran mayoría de los ojos actuales, sencillos o complejos, se basan en este concepto, por lo que, evolutivamente hablando, debió de suponer algo ventajoso. Esta copa sencilla se originó por invaginación³ de la placa plana, lo que originó una cavidad, en el fondo de la cual se encontrarían las células fotosensibles. Además de la protección obvia que supone distanciar estas células de la superficie —dejan de exponerse a los agentes externos—, dicha disposición permite que la luz estimule de forma diferente las células fotosensibles, en función del ángulo con el que entre en la invaginación. Esto otorga información sobre la dirección desde la cual llega la luz, añadiendo un dato muy útil para la supervivencia del organismo e incluso para orientarse.

Pero los ojos en cámara con los que cuentan —y contamos— en la actualidad muchos de los vertebrados dan una vuelta de tuerca más a esta copa óptica. Dentro de la cámara, un grupo de células proporcionan una ventaja extra: en algún momento, se formó una especie de bolsa transparente en forma de lente, el actual cristalino, que permite proyectar de forma más precisa la información luminosa en el fondo de la cámara, donde se encuentran las células fotorreceptoras. Se crea

3. La «invaginación» es un término usado en biología para indicar que una región de una superficie plana se repliega hacia el interior, lo que genera una especie de bolsa.

así un ambiente idóneo que beneficia al organismo a la hora de diferenciar y definir las imágenes del mundo exterior. Si, además, se regula la entrada de luz con estructuras anejas con capacidad contráctil, que ha derivado en el iris de muchos vertebrados actuales, se facilita tanto la mejora en la formación de la imagen como la adaptación de la sensibilidad de las células fotorreceptoras.

Todos estos tipos diferentes de ojos aparecen representados en muchos de los actuales animales de la Tierra. Contamos, así, con organismos que poseen las formas más sencillas de ojo en placa, otros con células fotosensibles en copa y otros con ojos realmente complejos, formados por cristalino, iris y tejidos anejos.

Además, dentro de este amplio mundo visual, existe una enorme variedad de formas, adaptaciones, mejoras y distintas capacidades de procesamiento. Merece la pena conocer algunas de ellas, de modo que empecemos por la que supuso una diferencia importante para el ajuste y mejora de la sensibilidad de las células fotorreceptoras: la aparición de la retina invertida, abundante entre los vertebrados. ¿En qué consiste y qué ventaja evolutiva proporciona? Ya he comentado que la retina es la porción sensible a la luz ubicada en el fondo de esa cámara compleja del ojo de los vertebrados y algunos invertebrados. Y, debido a que todos los organismos de gran tamaño han desarrollado ojos en cámara, parece lógico pensar que la naturaleza, evolutivamente hablando, se ha decantado por este modelo como la solución más eficiente para procesar la información visual —no en vano, la cámara fotográfica constituye una copia calcada de este sistema—. La cuestión es que, en los vertebrados, en esta lámina que forma la retina tapizando el fondo del ojo, con las células organizadas en capas, los fotorreceptores no se sitúan en la primera línea de batalla según llega la luz, sino en la última, enfrentada al fondo del ojo. Esto provoca que la luz deba atravesar varias capas de células no fotosensibles —con alguna excepción, de la que hablaremos más adelante— antes de llegar a incidir en los fotorreceptores.

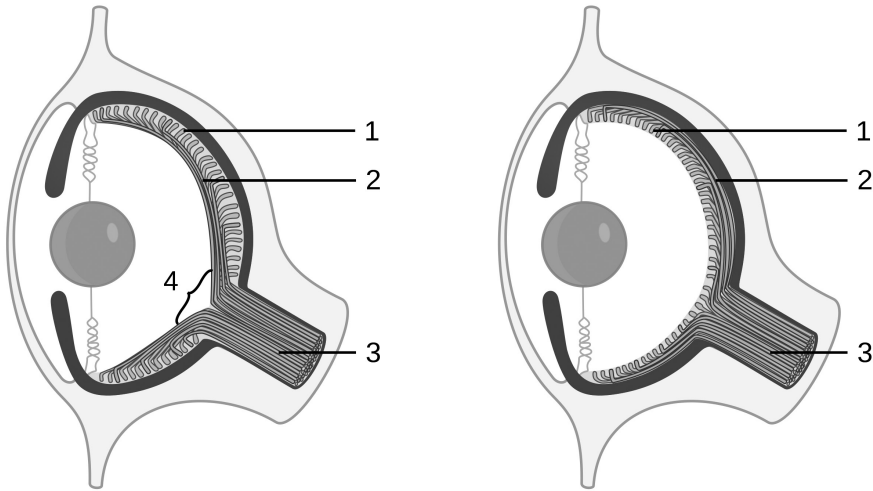


Figura 1.2. Tipos de ojos en cámara. El esquema de la izquierda muestra la retina invertida de los vertebrados —los fotorreceptores se ubican en el fondo del ojo y los axones, que forman el nervio óptico, hacia delante— y el de la derecha, el ojo de un pulpo, donde los fotorreceptores se enfrentan directamente a la luz que entra en él. 1. Retina, 2. Fibras del nervio óptico, 3. Nervio óptico, 4. Punto ciego.

Parece un sinsentido, ya que podríamos pensar que lo más ventajoso sería que la luz incidiese directamente sobre estas células, sin impedimentos, mas este sistema presenta una serie de ventajas importantes. La primera estriba en que, como ya se ha dicho por aquí, «escondarse» de la exposición directa a la luz ha permitido que estas células ajusten su sensibilidad a la cantidad específica que llega al ojo de una manera acorde con sus demandas energéticas. Mucha luz mal gestionada produce un daño denominado «fotooxidación», aparte de que el manejo de una gran cantidad de información requiere igualmente de una cantidad elevada de energía para funcionar, algo inabarcable para un organismo pluricelular con múltiples funciones complejas. La segunda ventaja radica en que esta disposición permite a los fotorreceptores rodearse de otras células que los ayudan a mejorar sus funciones básicas. Dichas células son las del epitelio

pigmentario y se encargan de, entre otras cosas, absorber el exceso de luz que llega al fondo del ojo con el pigmento que contienen —melanina—, de forma que se evita la citada «fotooxidación», se reponen los pigmentos visuales que los fotorreceptores usan y gastan cada vez que reciben un estímulo luminoso y, finalmente, se nutren, gracias a que sirven de intermediarias entre los capilares sanguíneos y la retina. Los fotorreceptores, debido a su alta actividad metabólica, demandan un gran aporte energético y nutricional, por lo que la función de nutrición realizada por el epitelio pigmentario es crucial, al ser la única vía desde la cual reciben el aporte. Puedes profundizar sobre la función de la nutrición de los fotorreceptores en el capítulo 5, dentro del apartado «¿Alimentas bien a tus fotorreceptores?».

Este modelo, con distintas adaptaciones ambientales, es también compartido por todos los vertebrados. Sin embargo, aunque haya llegado a nuestros días y sea el *mejor adaptado* para el tipo de visión que hemos desarrollado los vertebrados, no significa que sea perfecto —a pesar de que Darwin comparta conmigo la idea de que el ojo lo es—, pues presenta varios inconvenientes, consecuencia del legado que ha dejado la huella de la evolución en él; por ejemplo, en la retina invertida, la luz atraviesa todas las capas de la retina antes de llegar a los fotorreceptores, lo que genera cierta distorsión en el camino recorrido por la luz para llegar a estimularlos; por su parte, los vasos sanguíneos que discurren por la cara interna de la retina —y que se ven en una exploración del fondo del ojo— también generan una sombra sobre ella; finalmente, las fibras nerviosas que conectan la información que sale del ojo con áreas concretas de nuestro cerebro se reúnen y abandonan la retina por un punto, el nervio óptico, de modo que se crea un punto ciego.

Entre la enorme variedad de ojos en cámara —con retina invertida o no— que encontramos actualmente en la naturaleza, muy diversas adaptaciones interesantes han llegado hasta nuestros días. Cada hábitat demanda unas necesidades visuales diferentes, y los animales

que han conseguido adaptarse a ellos lo han hecho generando mejoras ventajosas. Resulta indudable que la evolución de las capacidades visuales y los ojos han ido de la mano con la del color de los organismos y ha sido determinante para la supervivencia y la diversidad de la fauna y flora de la Tierra. Así, por ejemplo, los animales han conseguido mejorar sus capacidades visuales a distintos tipos de luminosidad, a la percepción de diferentes longitudes de onda de la luz —traducidas en colores en nuestro cerebro, de lo que hablaremos más adelante— y muchas otras más. Esto ha determinado que haya animales que distinguen, por ejemplo, la luz ultravioleta (UV) —como muchos insectos, entre otros organismos—, la infrarroja —como algunos peces de agua dulce o los mosquitos— o la polarización de la luz —lineal y circular—, como la gamba o camarón mantis —en realidad, una galera, un organismo tan sofisticado que puede percibir todos estos ejemplos que acabo de mencionar y cuya visión excepcional comentaré en otro capítulo más adelante.



Figura 1.3. Abeja melífera —insecto— y gamba mantis —estomatópodo—(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_honey_bee_extracts_nectar.jpg> y <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mantis-Shrimp-Eyes.jpg>>).

Abeja: John Severns (Severnjc), Public domain, via Wikimedia Commons
Gamba mantis: Daniel Sasse, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons

**«Cada hábitat
demanda unas
necesidades
visuales diferentes,
y los animales que
han conseguido
adaptarse a estas
lo han hecho
generando mejoras
ventajosas».**

2

Y tú, ¿cómo lo ves?

Quiero que nos volvamos a ver.
Déjame ver cómo me ven tus ojos, ven.
Quiero decirte que, si hablamos de mirar,
los ojos son de quien te los hace brillar
(*Haz de luz*, Rayden).⁴

Ya nos lo decía Rayden en su tema *Haz de luz*, «déjame ver cómo me ven tus ojos» porque, en realidad, «no vemos el mundo como es, sino como somos». En esta frase aparentemente tan simple y a la vez tan certera —tanto desde el punto de vista perceptual como filosófico—, se condensa este capítulo. La frase, obviamente, no es mía —ya me gustaría—, sino una acertada reflexión de Jiddu Krishnamurti (1895-1986) —escritor y orador en cuestiones filosóficas y Medalla de la Paz de las Naciones Unidas en 1985—, con la que se representan aquellos filtros con los que cada uno de nosotros ve la vida y que explica por qué interpretamos la realidad de manera diferente, según nuestros sesgos cognitivos. Pero no voy a hablar de filosofía o psicología —aunque las toquemos de forma tangencial—, sino de ojazos, de percepción visual, de cómo miramos el mundo, por qué lo vemos así y cómo lo perciben otros seres vivos desde el punto

4. Enlace a Spotify: <<https://open.spotify.com/track/0xVOXUryXFWedCo4i8xe0P?si=b1eed7205ddc46b2>>.