



Todo tipo de ojos

All kind of eyes

Eva Nuñez Moscarda¹, Pablo Andres Cisneros Arias¹, Ismael Bakkali El Bakkali¹,
Francisco Javier Ascaso Puyuelo^{1,2,3}

¹ Servicio de Oftalmología. Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa de Zaragoza

² Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón (IIS de Aragón)

³ Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina. Universidad de Zaragoza

Autor para la correspondencia: Eva Nuñez Moscarda, contacto: evajnm@hotmail.es

RESUMEN

Dentro de la gran diversidad de seres vivos con quienes compartimos el planeta, existen en el reino animal criaturas sorprendentes, ya sea por su tamaño, velocidad, fuerza, etc. o por las condiciones ambientales que soportan con las herramientas que les son proveídas por la naturaleza. Así, por ejemplo, el órgano de la visión varía ampliamente de una especie a otra, hay quienes tienen ojos más grandes que su cerebro, como es el caso del tarsiero; quienes no tienen párpados, como los peces, o quienes tienen 3 pares de ellos, como los camellos; y aun los que ni siquiera tienen ojos. El ojo humano es el más desarrollado en el reino animal, pero existen sistemas bastante complejos como los ojos compuestos de los insectos que casi pueden igualarlo en eficacia. Además, existen numerosas adaptaciones del órgano de la visión en las diversas especies como por ejemplo las pupilas de formas verticales, horizontales e incluso en forma de W, o la percepción por la retina de luz del espectro ultravioleta en aves polinizadoras. Cada par de ojos en cada criatura en la Tierra resulta de un delicado balance, cada animal tiene el tipo de visión que requiere para sus necesidades

Palabras clave: animales, ojos compuestos, adaptación, órgano de la visión, visión rudimentaria, diversidad de ojos

ABSTRACT

Within the great diversity of living beings with whom we share the planet, there are surprising creatures in the animal kingdom, whether due to their size, speed, strength, etc. or by the environmental conditions that they support with the tools that are provided by nature. Thus, for example, the organ of vision varies widely from one species to another, there are those who have eyes larger than their brain, as is the case of the tarsier; those who do not have eyelids, like fish, or those who have 3 pairs of them, like camels; and even those who don't even have eyes. The human eye is the most developed in the animal kingdom, but there are quite complex systems such as the compound eyes of insects that can almost match it in efficiency. In addition, there are numerous adaptations of the

Comunicación presentada en la XXVIII Reunión del Grupo de Historia y Humanidades en Oftalmología durante el 98 Congreso de la Sociedad Española de Oftalmología, celebrado en Pamplona el 23 de septiembre de 2022.

organ of vision in various species, such as vertical, horizontal and even W-shaped pupils, or the retinal perception of light from the ultraviolet spectrum in pollinating birds. Each pair of eyes in each creature on Earth results from a delicate balance, each animal has the type of vision it requires for its needs.

Keywords: animals, compound eyes, adaptation, organ of vision, rudimentary vision, diversity of eyes

El término visión describe la capacidad de percibir el entorno que nos rodea en respuesta a la luz. La luz es un canal de comunicación muy eficiente: gracias a sus propiedades físicas puede alcanzar casi todos los rincones de la Tierra y es absorbida y reflejada por la materia a nuestro alrededor, por lo que gracias al reflejo de ondas electromagnéticas es posible obtener información del ambiente.

Los ojos son las estructuras más especializadas que conocemos para captar la luz, han aparecido y desaparecido en las diversas especies de manera independiente varias veces a lo largo de la historia evolutiva, lo cual demuestra su importancia en el mundo animal.

CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN OJO PARA CONSIDERARSE COMO TAL

Hay varios intermedios de complejidad entre la fina visión de un águila, gracias a la cual es capaz de reconocer una pequeña presa desde cientos de metros de altura y la muy básica sensibilidad a la luz que poseen las ofiuras, las cuales tienen el cuerpo cubierto de fotorreceptores que sencillamente les permiten captar la presencia de luz.

Ambos son capaces de medir la cantidad de luz, la distinción fundamental radica en lo que denominamos visión espacial, que consiste en la capacidad de comparar intensidades de luz y la dirección de la que proviene. Por lo tanto, consideramos ojos verdaderos únicamente a aquellos que permiten esta visión espacial (1).

CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE OJOS

Manchas oculares

No son ojos verdaderos, sino fotorreceptores, presentes en las células flageladas de algunas algas verdes y otros organismos unicelulares. Poseen un sistema de transducción de la señal luminosa que acciona el movimiento del flagelo de la célula, una forma efectiva de reconocer la dirección de la fuente de luz para dirigirse hacia ella, fenómeno conocido como fototaxia (2) (fig. 1).



Figura 1: Euglena con la mancha ocular. Su color anaranjado lo producen carotenoides como anteraxatina, neoxantina y b-caroteno. Autor: C. Krebs.

Placa pigmentaria

La unión de dos o más fotorreceptores situados en la superficie del cuerpo que se conectan con un ganglio óptico conforman lo que denominamos placa pigmentaria u ojo en placa. Estas estructuras son capaces de detectar la intensidad de la luz pero no la dirección desde la cual incide. Sin embargo, los seres vivos que las poseen pueden lograr localizarse espacialmente moviéndose progresivamente en diferentes direcciones, comparando de esta manera la intensidad de la luz (2).

Ojos en copa

Otro paso evolutivo del órgano de la vista es el ojo pigmentado en copa. Formado por una cavidad profunda (fig. 2) gana en información espacial y precisión, las células fotorreceptoras reciben la luz desde direcciones diferentes por su forma de copa, lo cual le concede información espacial y cierta precisión. Aunque la visión que proporcionan es rudimentaria, pues no forman una imagen, se consideran ojos verdaderos, y constituyen una ventaja evolutiva en los animales que los tienen porque les permiten precisar la ubicación de sus presas o sus depredadores a través de los contrastes de luces y sombras.

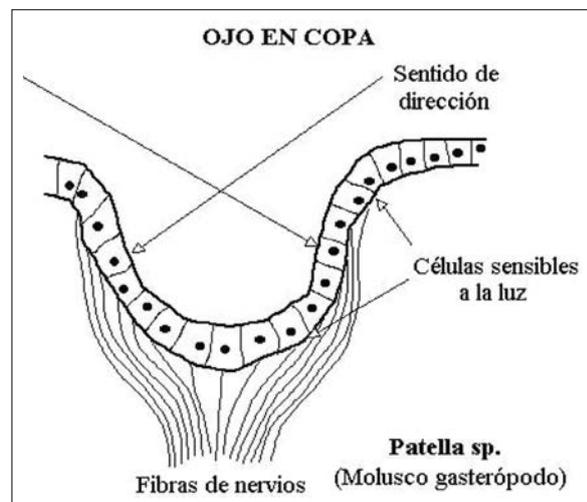


Figura 2: Dibujo esquemático de un ojo en copa.

Ojos simples o en cámara

Los ojos simples u ojos en cámara se diferencian de sus antecesores evolutivos, los ojos en copa, en que la invaginación que contiene a los fotorreceptores se profundiza y se cierra manteniendo un orificio en la parte anterior que permite el paso de la luz. En estos ojos, además, aparecen dos tipos diferenciados de fotorreceptores: los conos y bastones.

Estos ojos no son nada simples, se llaman así porque se componen de una estructura única que capta la luz, en comparación con los ojos compuestos, que constan de múltiples unidades constituyentes (1).

Ojos de cámara estenopeica: Los ojos de los nautilos son los ojos en cámara más primitivos que existen en el



Figura 3: Nautilo. Fotografía Acuario Barcelona.

mundo contemporáneo, la cavidad está llena de agua de mar, pues está abierta en la parte frontal por un pequeño orificio a través del cual pasa la luz, que funcionaría como pupila. Este orificio pequeño a modo de estenopeico mejora la percepción de la imagen, ya que la única forma de mejorar la visión dentro de lo posible sin que exista una lente es que la luz que entra a la cámara se condense sobre la retina pasando por un orificio que disminuya la dispersión.

Ojos de cámara con lente: Para formar imágenes claras es requisito indispensable una lente que concentre los rayos de luz en la retina

Se piensa que la lente se originó con la finalidad de proteger el interior del ojo del mundo exterior de las radiaciones, las bacterias, etc., a partir de un material queratínico que lo rodeaba (3).

Ojos compuestos

Los ojos compuestos se llaman así porque están conformados por múltiples unidades llamadas facetos u omatidios, que tienen una estructura cilíndrica, dispuestos verticalmente y en cuyo interior se sitúan, en cada uno de ellos, células fotorreceptoras (células retinulares) distribuidas circularmente en el interior de cada omatidio. A su vez, cada omatidio está limitado por células pigmentarias que limitan el escape de la luz entre omatidios, para que el mismo haz de luz no pase de un omatidio a otro. Solo llegan a estimular a las células retinulares los haces de luz que inciden de manera coincidente con el eje del cilindro.

Cada omatidio posee un sistema de lentes propio y pigmentación protectora de los fotorreceptores, y no se relacionan entre sí, cada uno de ellos lleva la información a través de una fibra nerviosa independiente, por lo que la imagen que llega al cerebro se parece más a una auténtica matriz de píxeles que a la imagen completamente homogénea que forman los ojos humanos.

Como los omatidios se disponen de manera radial sobre eminencias de la superficie corporal, este tipo de ojos también se denominan ojos de retina convexa. Ocupan una proporción grande de la cabeza, tal y como vemos que ocurre en la mosca, pues a mayor número de omatidios mayor resolución de la imagen, pero hay un límite de peso asumible, un ojo demasiado pesado no va a permitir al insecto desplazarse. Si quisiéramos obtener la calidad de imagen que obtiene el ojo humano con un ojo compuesto, el órgano debería medir un diámetro de un metro (3).

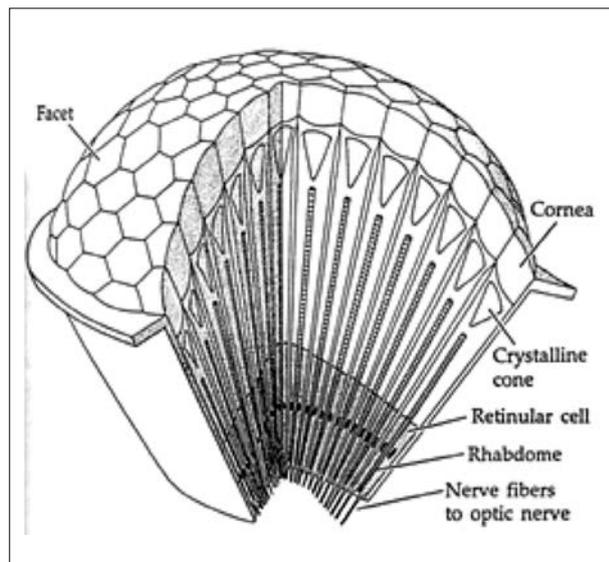


Figura 4: Dibujo esquemático de un ojo compuesto. Se aprecian omatidios compuestos cada uno de ellos por su cornea, lente, células retinulares y una fibra nerviosa.



ADAPTACIONES DE LA VISIÓN

En los animales, la posición de los ojos en la cabeza implica un balance entre la amplitud del campo visual y la percepción de profundidad. Entre los vertebrados existen marcadas diferencias en cuanto a la posición de los ojos y el campo visual que este condiciona. Por ejemplo, la superposición de los campos visuales, y por ende, la visión estereoscópica, que existe en gatos y en primates gracias a la posición anterior de los ojos en la cabeza no está presente en el mismo grado en otros vertebrados no mamíferos como peces, anfibios, reptiles o pájaros.

Los camaleones disfrutan de un campo visual muy amplio (aprox 340°) gracias a la habilidad que poseen de girar sus ojos cada uno en una dirección. Este «estrabismo voluntario» les permite disminuir al mínimo sus movimientos corporales para evitar ser detectado tanto por sus presas como por sus posibles predadores.

Para comprobar si realmente existe independencia entre los ojos del camaleón así como independencia del análisis y procesamiento de las imágenes que percibe cada uno, investigadores israelíes realizaron un experimento que concluye que los ojos del camaleón son independientes el uno del otro en el seguimiento de objetos pero tienen la capacidad de adoptar binocularidad una vez que seleccionan un objetivo, esto les permite enfocarse completamente en obtener su presa (4).

Visión de colores

Las longitudes de onda que el ojo humano es capaz de percibir van de 400 a 700 nm (presentando alguna sensibilidad hasta 800 nm). Las aves, peces e insectos discriminan longitudes de onda que conforman el espectro UV (320-400 nm).

Mientras los seres humanos poseemos 3 tipos de conos, para los colores rojo verde y azul, los cuatro conos de color de las aves les permiten distinguir un abanico más amplio de colores, como el espectro ultravioleta, que incluye colores como el verde UV y el rojo UV.

Stoddard y colaboradores concluyeron a través de un experimento que los colibríes podrían ser capaces de ver un 30% de los colores del plumaje de las aves y un 35% de los colores de las plantas en tonos no espectrales, colores que los humanos no podemos ni imaginar. También se ha demostrado que las flores tienen marcas en colores UV para atraer insectos polinizadores (5).

Adaptación a la oscuridad

Los animales de hábitos nocturnos suelen tener grandes ojos (y por ende, grandes retinas) para poder capturar del medio tantos fotones como sea posible. Los ojos grandes optimizan la percepción de haces luminosos en condiciones de penumbra, incluso a expensas del poder de resolución de la retina.

Como ejemplo de animal nocturno con ojos y pupilas grandes, podemos citar al tarsero, cuya proporción ojos-cráneo puede apreciarse en esta ilustración (fig. 5).

En los Vertebrados nocturnos o los que viven en aguas oscuras, es decir, adaptados a unas condiciones de pobre iluminación, los conos son escasos o no existen, y la retina está formada casi exclusivamente por bastones.

Los peces abisales viven en regiones marinas en donde casi no hay luz, por lo cual se creía que eran ciegos o prácticamente ciegos al color, pero actualmente se cuestiona la anterior hipótesis.

En una de estas especies (el pez espinoso plateado o *Diretmus argenteus*) fueron encontrados 38 genes diferentes que expresan opsinas sensibles a distintas longitudes de onda. Las opsinas de los bastones de este pez son sensibles a longitudes de onda que se solapan con las longitudes de onda que emiten seres abisales por bioluminescencia.

A una profundidad de más de 300 metros sólo llega la luz azul del sol. A partir de los 1.000 metros de profundidad ya no llega ninguna luz solar y sólo queda la bioluminiscencia generada por crustáceos, pulpos, bacterias e incluso peces. Por consiguiente, los animales que ahí viven sí deben percibir esa luz generada por bioluminiscencia y sí que están expuestos a sus distintos colores.

Parece ser, por tanto, que la visión de estos peces está sintonizada con los colores de la luz emitida por los seres sobre los que se alimentan (6).

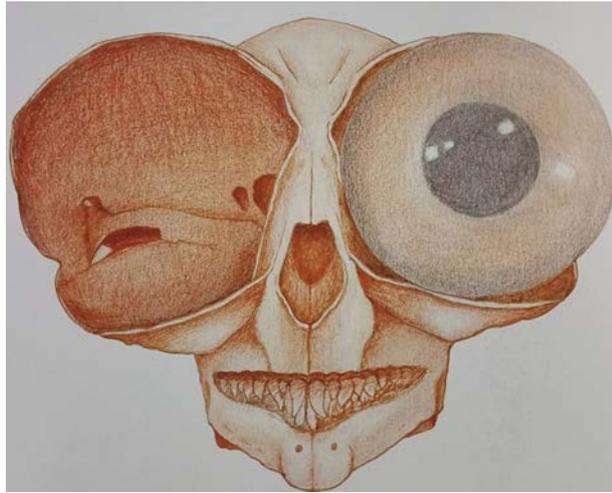


Figura 5: Dibujo esquemático donde se aprecia la proporción ojos-cráneo del tarsero. Libro «Tipos de Ojos».

LA VISIÓN DE LOS ANIMALES BAJO EL AGUA

El problema general de la visión en cualquier medio, es conseguir desviar los rayos luminosos para que queden enfocados en la retina.

Debido a que el índice de refracción de la córnea es similar al del agua en los vertebrados acuáticos, la luz que ingresa al ojo sufre solo pequeñas desviaciones cuando atraviesa el tejido corneal, por lo que la curvatura de la cornea apenas colabora en la desviación de los rayos y, generalmente, encontramos corneas poco curvadas.

La desviación de los rayos luminosos y su enfoque sobre la retina se produce principalmente gracias al cristalino esférico y de gran tamaño que poseen los animales acuáticos.

Pez de 4 ojos (*Anableps anableps*)

Un ejemplar especialmente curioso es el Pez de cuatro ojos (*Anableps anableps*) que vive en las aguas poco profundas de los manglares y pasa la mayor parte del tiempo en la superficie por lo cual la parte superior de sus ojos protruye desde el nivel del agua y la mitad inferior permanece sumergida. El sistema visual de este animal evolucionó para

integrar dos sistemas ópticos diferentes en un solo ojo. La córnea está dividida en dos partes por un tabique densamente pigmentado, y el iris divide de manera similar las dos aberturas pupilares. La parte superior de la córnea (que es muy curva) proyecta la luz proveniente del aire sobre la retina. Asimismo, la superficie ventral (mas plana) lo proyecta a la retina dorsal. A diferencia de la mayoría de los peces, el cristalino no es esférico, sino elongado e inclinado, de modo que la luz del entorno acuático pasa a través del eje largo compensando los efectos ópticos casi nulos de la parte inferior de la córnea, mientras que la luz que proviene del aire (superficie corneal mas curva) atraviesa el eje corto. Además, las opsinas expresadas en la hemirretina dorsal difieren de las expresadas en la hemirretina ventral, lo que sugiere que la retina se adapta a las diferentes longitudes de onda de la luz proveniente de dos ambientes diferentes (7).

OJOS FALSOS Y OJOS VERDADEROS

Muchos animales vigilan los ojos de sus presas, en un intento de acercarse a ellas sin ser vistos. Si la presa puede confundir al depredador, sus posibilidades de escape son mucho mayores, es por esto que algunas especies de mariposas y peces adornan sus alas o aletas con manchas que simulan grandes ojos, y las dejan ver en caso de peligro para ahuyentar al depredador que las amenaza (8) (fig. 6).



Figura 6: Mariposa buho. Se aprecian sus alas adornadas con diseño de ojos (8).

La diversidad en el sentido de la vista y en el órgano que lo desarrolla dentro del mundo animal es fascinante y apasionante. Aunque aún queda mucho por descubrir en este tema, estamos seguros de que comprender las diferencias existentes entre los seres

vivos sera siempre para los seres humanos motivo para continuar maravillándonos de la magnificencia de la naturaleza reflejada en la perfección de los detalles evolutivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nilsson D. The evolution of eyes and visually guided behaviour. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2009;364(1531):2833-2847 Guido M, Panzetta P. Evolución de los Ojos y Fotorreceptores. *Oftalmol Clin Exp* 2007; 1: 26-31.
2. Gavelis GS, Hayakawa S, White RA 3rd, Gojobori T, Suttle CA, Keeling PJ, Leander BS. Eye-like ocelloids are built from different endosymbiotically acquired components. *Nature.* 2015 Jul 9; 523(7559): 204-7. doi: 10.1038/nature14593. Epub 2015 Jul 1. PMID: 26131935.
3. Suarez M, Alcaraz G. Un mundo de luz bajo el agua: la visión de los invertebrado acuáticos. *Ciencia.* 2019. 131-132.



4. Katz HK, Lustig A, Lev-Ari T, Nov Y, Rivlin E, Katzir G. Eye movements in chameleons are not truly independent - evidence from simultaneous monocular tracking of two targets. *J Exp Biol.* 2015 Jul; 218(Pt 13): 2097-105. doi: 10.1242/jeb.113084. PMID: 26157161.
5. Stoddard MC, Eyster HN, Hogan BG, Morris DH, Soucy ER, Inouye DW. Wild hummingbirds discriminate nonspectral colors. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2020 Jun 30; 117(26): 15112-15122. doi: 10.1073/pnas.1919377117. Epub 2020 Jun 15. PMID: 32541035; PMCID: PMC7334476.
6. Musilova Z, Cortesi F, Matschiner M, Davies WIL, Patel JS, Stieb SM, de Busserolles F, Malmstrøm M, Tørresen OK, Brown CJ, Mountford JK, Hanel R, Stenkamp DL, Jakobsen KS, Carleton KL, Jentoft S, Marshall J, Salzburger W. Vision using multiple distinct rod opsins in deep-sea fishes. *Science.* 2019.
7. Perez L, Lorena J, Costa C, Araujo M, Frota-Lima Gabriela N, Matos-Rodrigues G, Martins Rodrigo A, Mattox G, Schneider P. Eye development in the four-eyed fish *Anableps anableps*: cranial and retinal adaptations to simultaneous aerial and aquatic vision. *Proc. R. Soc. B.* 2017. 284.
8. Costa Rica Entomological Suply (s.f.) *Caligo memnon*. Disponible en: <http://www.butterflyfarm.co.cr/species/caligo-memnon>