

OJOS DE MUCHOS TIPOS

Un ojo ha sido considerado siempre como algo maravilloso. Ha sido el ejemplo típico que se solía poner de la necesidad de un creador, para un plan tan perfecto. ¡Qué lástima que, en realidad, sea algo tan trivial!

La luz es algo que hay en el entorno de muchos seres vivos. Es una forma de energía. Y la energía provoca cambios. Se quiera o no, un ser vivo terminará influido por la luz. La luz está hecha de fotones que vibran una determinada longitud de onda, ni mucha ni poca. Si vibraran mucho tendrían mucha energía, tanta como para romper la molécula encargada de recogerlos. Y eso no es bueno. Si vibraran poco, la molécula encargada de recogerlos no sufriría ningún cambio. Y eso es inútil.

Desde antes de la fotosíntesis los seres vivos saben emplear la luz. Todo empezó con la mancha ocular. En un organismo unicelular. ¡Qué vergüenza! Una cosa tan complicada como el ojo inventada por un bichito con una única célula. Se trató de alguien parecido a *Euglena*. Su propio nombre quiere decir “bicho con ojo de verdad” en griego. Es un protista, un organismo eucariota de una única célula, que está relacionado tanto con plantas como con animales. Con plantas porque muchas Euglenas tienen cloroplastos y hacen la fotosíntesis. Con animales porque muchas Euglenas no tienen cloroplastos y son nadadoras y descomponedoras. Depende de que haya luz o no. Podrían estar en la base de ambas líneas evolutivas, parecerse a un antepasado común para plantas y animales.

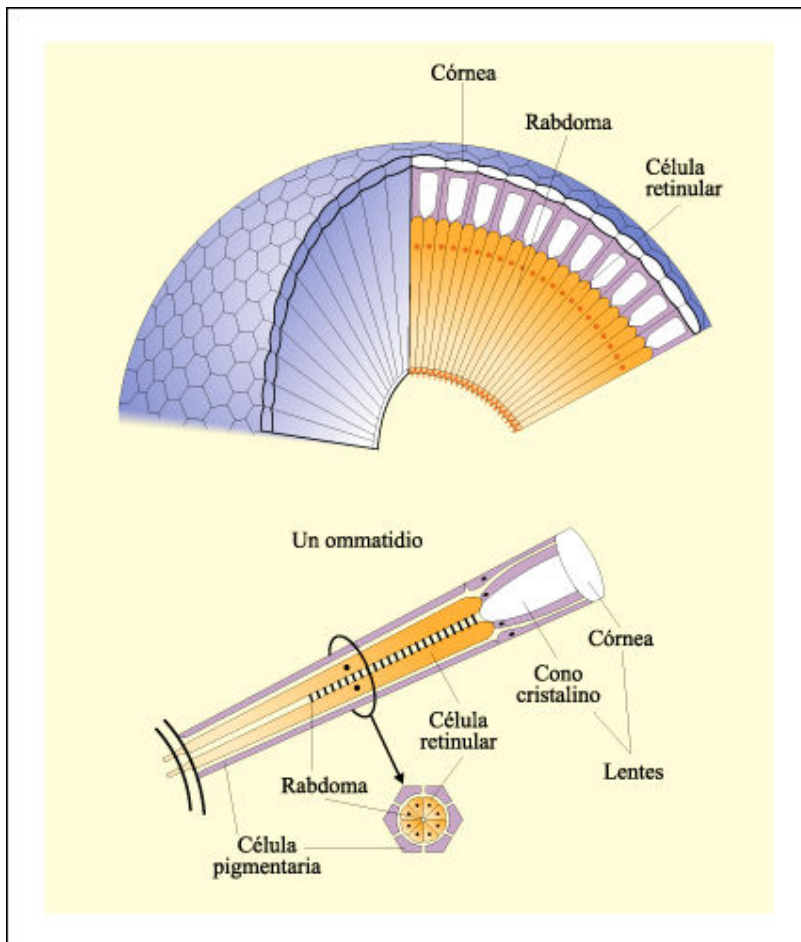
Esa mancha ocular está conectada al flagelo. Hace que la célula se mueva hacia él cuando recibe luz. Porque fabrica una molécula (AMPc) como consecuencia de la luz recibida. Y esa molécula actúa como mensajero, uniéndose al sistema motriz del flagelo y provocando cambios en la dirección y velocidad.

Aunque el origen de la mancha ocular pudo ser para proteger del exceso de luz. De los fotones que rompen. Con el tiempo se le añadió la otra función, la de “ver”.

Ese es el primer ojo. Luego vinieron más. Y más complejos. Pero lo básico ya estaba inventado. Lo siguiente fue saber con precisión de dónde procedía la luz. Para eso se necesitaba dirección. La mancha de pigmentos tendría que estar rodeada por moléculas opacas excepto por un sitio, una abertura. Si entraba luz ya se sabía que procedía de algo en la dirección de la abertura. Ya tenemos un ojo con forma de copa.

El siguiente paso fue aumentar la cantidad de luz que penetraba por la abertura. Para eso se necesita un cuerpo con forma de lente y relleno de algún tipo de líquido adecuado, transparente, que concentre los rayos. Este tipo de ojo sólo aparece cuando el organismo es pluricelular. Así, hay una célula especializada en fabricar pigmentos fotosensibles, otra en ser opaca, otra en ser una lente.

Los animales pluricelulares terminan por tener un sistema nervioso. Es entonces cuando pueden tener varios ojos. Y, en función de que la luz llegue más a uno u otro, pueden activar unos músculos u otros. El ojo, en el siguiente paso, se conectó con el cerebro incipiente. Los ojos, más bien. Porque había que tener muchos ojos para detectar muchos rayos de luz. Ya tenemos los ojos compuestos de los artrópodos. Compuestos de ojos simples llamados omatidios.



Como puedes ver, realmente hay más células. Pero no pretendo una explicación exhaustiva.

Pero hubo otra solución, menos evidente. En insectos, el cerebro interpreta lo que cada ojo le dice. Pero el ojo unidad no ve realmente nada. Es el cerebro el que se encarga de casi todo. Menos de captar la luz. En otra línea, en moluscos y en vertebrados, el ojo realmente ve. El ojo interpreta la información y la manda al cerebro algo elaborada,

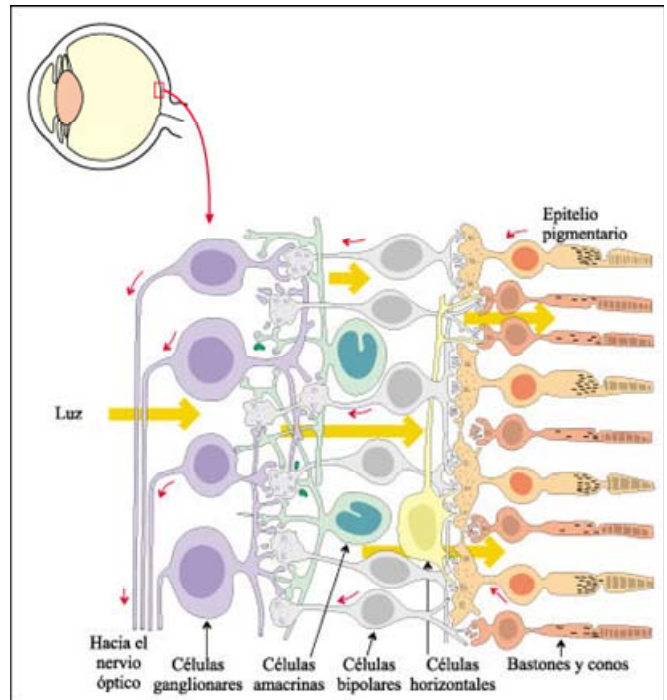
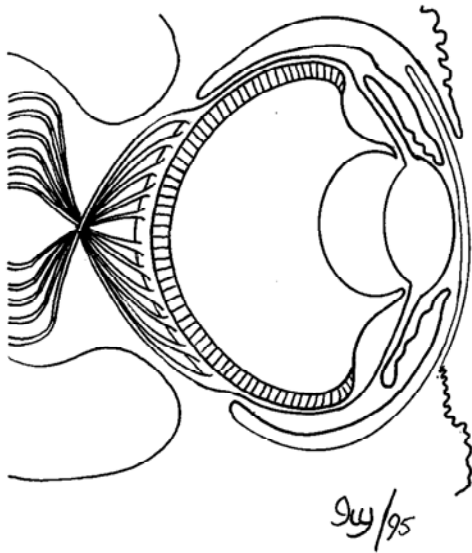
menos en bruto que en insectos.

Consistió en crear una única forma de copa para muchas células. Un único revestimiento opaco con una única abertura y una única lente (el cristalino), pero con muchas células fotosensibles juntas. En artrópodos, cada célula fotosensible tiene su copa opaca, su abertura y su lente. Aquí no. La ventaja es que se puede percibir el movimiento. ¿Cómo? Fácil. Primero la luz entra por la abertura en una dirección e ilumina un conjunto de células fotosensibles. Luego, conforme cambia de dirección va iluminando otra serie de células fotosensibles. Y así.

Y no es difícil de inventar. Basta con una mutación que haga que dos células fotosensibles se dividan cuando no les toca. Quedarían encerradas dentro de la copa opaca, con abertura común y lente común. Es un buen ojo este ojo. Aunque sólo perciba sombras que aparecen y desaparecen. Lo tienen anélidos poliquetos. Es el ojo en cámara.

Pero al ser más grande, la abertura es más grande. Y eso hace que entre más luz pero que la imagen sea menos nítida (cuanta más luz entra más células fotosensibles se iluminan y menos claro es dónde acaba y dónde empieza el rayo de luz). Así que hubo que inventar un sistema que regulara cuánta luz entra: un iris. El iris ayuda a enfocar, a hacer nítida la imagen. A ver.

Sin embargo, el fondo del ojo no está igual de bien organizado en cefalópodos y en nosotros. Nuestras células fotosensibles proceden del sistema nervioso. Estaban dentro y terminaron saliendo hacia fuera. Es como si el cerebro se hubiera asomado a una ventana. Apuntan en la dirección equivocada, hacia el fondo del ojo. Por tanto, el rayo de luz tiene que atravesar la parte posterior de esas células. Eso no es una ventaja. Además, como proceden del sistema nervioso, los vasos sanguíneos están por encima, no por debajo, como sería lógico. Como en los cefalópodos. En ellos todo es más fácil. En ellos las células fotosensibles proceden de la piel. Apuntan hacia el sitio correcto y tienen los vasos sanguíneos debajo, como debe ser. Sin embargo, el



cristalino suyo es peor.

EL OJO SIMPLE



Los **ojos simples** de los artrópodos son estructuras fotorreceptoras que funcionan como órganos de la visión en artrópodos. Podemos diferenciar del ojo simple propiamente dicho, el **ocelo**; los ocelos se presentan en los hexápodos, mientras que los ojos simples

son propios de los quelicerados.

Ambos presentan estructuras muy semejantes en cuanto a componentes básicos; en cambio, su organización es diferente.

Estructura

En general están formados por tres componentes:

Componente cuticular: Está formado por las células corneágenas, y es la porción de cutícula bajo la cual se sitúa el órgano receptor de la luz; es transparente, y actúa de lente. Está formado por una córnea biconvexa o planoconvexa.

Componente epidérmico: Formado por células corneágenas (es decir, las que regeneran la córnea) y pigmentarias. Las pigmentarias rodean las células visuales de forma dispersa, o se sitúan de forma continua en las zonas laterales. En los ojos simples, las células corneágenas son transparentes, se sitúan bajo la córnea y forman el cuerpo vítreo. Esto nunca se dará en los ocelos, ya que las células corneágenas se sitúan de forma circundante.

Componente sensorial

Formado por células visuales o retinianas, que forman rabdomas discontinuos, y que son directos en los ocelos y en los ojos simples de los limúlidos y los laterales de arácnidos, y son inversos en los ojos centrales de arácnidos y en los ojos de los picnogónidos.

El estenmatidio como ojo simple particular

Aquellos **ojos simples** donde también existe cristalino, pero que es acelular, se denominan **estenmatidios**. Son estructuras exclusivamente larvarias de insectos holometábolos, y en los colémbolos. Ocupan el mismo lugar que ocuparán en el adulto los ojos compuestos; cuando se forman éstos, los estenmatidios quedan atrofiados. Además, el



estenmatidio tiene una retina de rabdoma continuo, lo que le diferencia de ambos, ojo simple y ocelo.

EL OJO COMPUESTO

Un **ojo compuesto** es un órgano visual que se encuentra en ciertos artrópodos como insectos y crustáceos. Consiste en la agrupación de entre 12 y varios miles (6.300 en *Apis mellifera*) de unidades receptoras llamadas **ommatidios**. Los ommatidios son unidades sensoriales formadas por células capaces de distinguir entre la presencia y la falta de luz y, en algunos casos, capaces de distinguir entre colores. La imagen que percibe un artrópodo es el conjunto de señales de los múltiples ommatidios orientados en direcciones diferentes. Contrariamente a otros tipos de ojos, no tiene una lente central o retina, lo cual implica una baja resolución de imagen. Asimismo, el ojo compuesto es capaz de detectar movimientos rápidos, ve un amplio rango de ángulo sólido y, en algunos casos, percibe la polarización de la luz. La sensibilidad del ojo compuesto empieza en la franja ultravioleta y llega hasta el naranja, no distinguiendo el rojo del gris.

Cada ommatidio consiste en una lente y un **rabdomero**, que consiste en un grupo de células receptoras visuales puestas en paralelo o ligeramente giradas.

Hay dos tipos básicos de ojos compuestos:

- El ojo de aposición que se puede dividir en dos grupos. El típico ojo de aposición tiene una lente que enfoca la luz proveniente de una dirección sobre el rabdomero, mientras que la luz proveniente de otras direcciones se absorbe en las paredes oscuras del ommatidio. El otro tipo de ojo de aposición se encuentra en el Strepsiptera (orden de insectos diminutos, parásitos obligados de otros insectos), en el cual cada lente forma una imagen, y las imágenes se combinan en el cerebro. Este ojo se llama ojo de superposición neuronal u ojo esquizocroal compuesto.
- El segundo tipo se llama ojo de superposición. Se divide en tres tipos: superposición refractante, superposición reflectante y superposición parabólica. El ojo de superposición refractante tiene una abertura entre la lente y el rabdomero y no tiene pared. Cada lente refleja la luz en un ángulo igual al ángulo que la recibe. El resultado es la formación de la imagen en la mitad del radio del ojo, donde hay situadas las testas de los rabdomeros. Este tipo de ojo se encuentra normalmente en insectos nocturnos. En los ojos compuestos de superposición parabólica, que se encuentran en artrópodos como las efímeras, cada faceta de la superficie del ojo contiene una superficie parabólica que recibe la luz de un reflector y la enfoca sobre una matriz de sensores. Los crustáceos de cuerpo largo como gambas, langostinos y langostas son los únicos que tienen ojos de superposición reflectante, que también tienen una abertura pero que en lugar de lentes utilizan diedros de espejos.

Hay algunas excepciones de los casos anteriores. Algunos insectos tienen lo que se denomina un ojo compuesto de lente simple, que es un caso intermedio entre el ojo compuesto de superposición y el ojo de lente simple que se encuentra en los animales de ojos simples.

El cuerpo del *Ophiocoma wendtii*, un tipo de ofiuroideo, está cubierta de ommatidios, convirtiendo toda su piel en un ojo compuesto.

En los crustáceos, los ojos son de dos tipos. El más simple es el ojo medio o nauplio



presente en las larvas nauplius; es bastante simple y está formado por 3 o 4 pequeños ocelos con fotorreceptores que ayudan a la larva a determinar la situación del fondo o de la capa superficial del agua. Este ojo puede permanecer en los adultos, pero es más común la presencia de

dos ojos compuestos laterales, sobre un pedúnculo móvil o sésiles. Su campo visual suele ser grande, a veces unos 180° , debido a la córnea convexa. El número de omatidios es variable, desde unas pocas decenas hasta los 14.000 del bogavante.

En los quelicerados se pueden diferenciar dos tipos de ojos; los que en arácnidos se sitúan en posición lateral, o los que tienen los limúlidos (cangrejo cacerola), que son de visión directa, y los que se sitúan centrales en arácnidos, que no existen en limúlidos, y son propios de los picnogónidos (arácnidos acuáticos), que son de visión invertida o indirecta. En éstos últimos, se presenta la estructura reflectante denominada *tapetum lucidum*.

EL OJO DE LOS CEFALÓPODOS

El ojo de los cefalópodos es un órgano análogo al ojo de los vertebrados. Se forma a partir de pliegues en la piel del embrión, al contrario que los ojos de los vertebrados, formados a partir del mielencéfalo. Su estructura es similar. Posee cristalino, esclerótica, retina y humor acuoso. El nervio óptico es prácticamente inexistente ya que el ojo está separado tan solo por unos milímetros del lóbulo óptico del cerebro. Por tanto, toda la información se procesa directamente en el cerebro.

El ojo de los cefalópodos carece de punto ciego, ya que los ganglios y nervios se sitúan por detrás de la retina y no tapan esa porción. El cristalino es rígido, de modo que para enfocar se mueve hacia delante y hacia atrás por medio de un paquete muscular. Por tanto, a mayor edad del organismo, mayor superficie ocular y mayor capacidad de movimiento del cristalino que se traduce en una mayor capacidad de enfoque.

Los **rabdomeros** son las células fotosensibles de los cefalópodos. Son de forma tubular, orientadas hacia el origen de la fuente de luz, lo que se conoce como *visión*

directa y le da cierto aspecto de cepillo al ojo. Los rabadómeros no crecen a lo largo de la vida del animal, pero sí que aumentan su número proporcionando agudeza visual extra con la edad.

La gran mayoría de cefalópodos poseen tan solo un pigmento en sus rabadómeros, la rodopsina, por lo que al carecer también de varios bancos de receptores no pueden ver en color, salvo excepciones. Tampoco necesitan la visión en color en los oscuros fondos marinos.

En los cefalópodos el enfoque no depende de la flexibilidad del cristalino sino de que éste se halle a la distancia apropiada de la retina. Cuanto más crece el animal más grande es el ojo, y dado que los rabadómeros no varían de tamaño en toda la vida, conforme aumenta la superficie retiniana se va tapizando por más células fotosensibles. Por este motivo, los adultos poseen una agudeza visual superior a los jóvenes.

Otra importante diferencia es que la gran mayoría de los cefalópodos poseen un solo pigmento visual, la rodopsina, con picos de absorción luminosa que varían según la forma de vida de cada especie. Esto ha llevado a los científicos a inferir que no son capaces de distinguir los colores, pues se necesitarían al menos dos pigmentos para poder discriminar distintas longitudes de onda, es decir, para ver "en color". También se podrían diferenciar colores disponiendo de un único pigmento si la retina tuviese varios bancos de receptores, por ejemplo, capas dobles de bastones. Una de las pocas excepciones a esta generalidad se da en el calamar *Watasenia scintillans*, que puede ver en color.

Los resultados de estudios fisiológicos basados en electroretinogramas apoyaron las tesis de la visión monocromática. Paralelamente, se llevaron a cabo experiencias de aprendizaje basados en las respuestas de los pulpos ante estímulos visuales. Analizando su comportamiento al presentarles piezas de distinto tamaño, brillo, orientación y color, se concluyó que fueron capaces de discriminarlas en todas las pruebas, excepto en la del color. Tampoco necesitan la visión en color en los oscuros fondos marinos.

Fuentes:

<http://mondopulpo.blogspot.com/2005/12/los-ojos-de-los-cefalopodos.html>

http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo_de_los_cefal%C3%B3podos

<http://www.asturnatura.com/articulos/artropodos/cargencrus.php>

http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo_simple

<http://profeblog.es/blog/joseluis/2007/12/11/ojos-de-muchos-tipos/>

<http://biodidac.bio.uottawa.ca/>