

ULLS DE MOLTS TIPUS

Un ull ha sigut considerat sempre com quelcom meravellós. Ha sigut l'exemple típic que se solia posar de la necessitat d'un creador, per a un pla tan perfecte. Quina llàstima que, en realitat, siga quelcom tan trivial!

La llum és quelcom que hi ha en l'entorn de molts sers vius. És una forma d'energia. I l'energia provoca canvis. Es vullga o no, un ésser viu acabarà influït per la llum. La llum està feta de fotons que vibren una determinada longitud d'ona, ni molta ni poca. Si vibraren molt tindrien molta energia, tanta com per a trencar la molècula encarregada d'arreglar-los. I això no és bo. Si vibraren poc, la molècula encarregada d'arreglar-los no patiria cap canvi. I això és inútil.

Des d'abans de la fotosíntesi els sers vius saben emprar la llum. Tot va començar amb la taca ocular. En un organisme unicel·lular. Quina vergonya! Una cosa tan complicada com l'ull inventada per un bestiolet amb una única cèl·lula. Es va tractar d'algú paregut a *Euglena*. El seu propi nom vol dir "bestiola amb ull de veritat" en grec. És un protista, un organisme eucariota d'una única cèl·lula, que està relacionat tant amb plantes com amb animals. Amb plantes perquè moltes Euglenas tenen cloroplastos i fan la fotosíntesi. Amb animals perquè moltes Euglenas no tenen cloroplastos i són nadadores i descomponedores. Depèn de que hi haja llum o no. Podrien estar en la base d'ambdós línies evolutives, assemblar-se a un avantpassat comú per a plantes i animals.

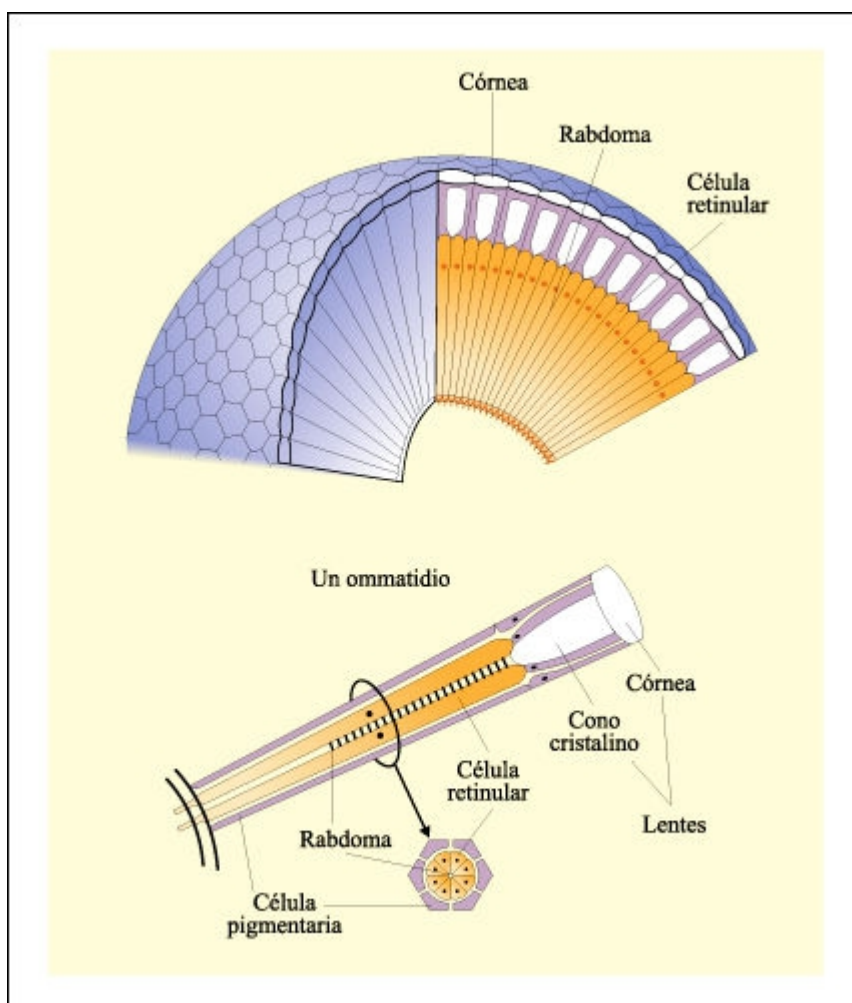
Eixa taca ocular està connectada al flagell. Fa que la cèl·lula es moga cap a ell quan rep llum. Perquè fabrica una molècula (AMPC) com a conseqüència de la llum rebuda. I eixa molècula actua com a missatger, unint-se al sistema motriu del flagell i provocant canvis en la direcció i velocitat.

Encara que l'origen de la taca ocular va poder ser per a protegir de l'excés de llum dels fotons que trenquen. Amb el temps se li va afegir l'altra funció, la de "veure".

Eixe és el primer ull. Després van vindre més. I més complexos. Però el bàsic ja estava inventat. El següent va ser saber amb precisió d'on procedia la llum. Per a això es necessitava direcció. La taca de pigments hauria d'estar rodejada per molècules opaques excepte per un lloc, una obertura. Si entrava llum ja se sabia que procedia de quelcom en la direcció de l'obertura. Ja tenim un ull amb forma de copa.

El següent pas va ser augmentar la quantitat de llum que penetrava per l'obertura. Per a això es necessita un cos amb forma de lent i farcit d'algun tipus de líquid adequat, transparent, que concentre els rajos. Este tipus d'ull només apareix quan l'organisme és pluricel·lular. Així, hi ha una cèl·lula especialitzada a fabricar pigments fotosensibles, una altra a ser opaca, una altra a ser una lent.

Els animals pluricel·lulars acaben per tindre un sistema nerviós. És llavors quan poden tindre uns quants ulls. I, en funció que la llum arribe més a un o altre, puc activar uns músculs o altres. L'ull, en el següent pas, es va connectar amb el cervell incipient. Els ulls, més aïna. Perquè calia tindre molts ulls per a detectar molts rajos de llum. Ja tenim els ulls compostos dels artròpodes. Compostos d'ulls simples anomenats ommatidis.



Com pots veure, realment hi ha més cèl·lules. Però no pretenc una explicació exhaustiva.

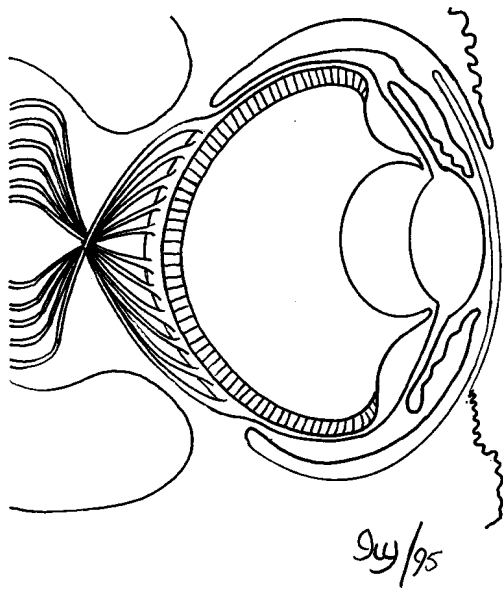
Però va haver-hi una altra solució, menys evident. En insectes, el cervell interpreta el que cada ull li diu. Però l'ull unitat no veu realment res. És el cervell el que s'encarrega de quasi tot. Menys de captar la llum. En una altra línia, en mol·luscos i en vertebrats, l'ull realment veu. L'ull interpreta la informació i la envia al cervell un poc elaborada, menys en brut que en insectes.

Va consistir a crear una única forma de copa per a moltes cèl·lules. Un únic revestiment opac amb una única obertura i una única lent (el cristal·lí), però amb moltes cèl·lules fotosensibles juntes. En artròpodes, cada cèl·lula fotosensible té la seua copa opaca, la seua obertura i la seua lent. Ací no. L'avantatge és que es pot percebre el moviment. Com? Fàcil. Primer la llum entra per l'obertura en una direcció i il·lumina un conjunt de cèl·lules fotosensibles. Després, conforme canvia de direcció va il·luminant una altra sèrie de cèl·lules fotosensibles. I així.

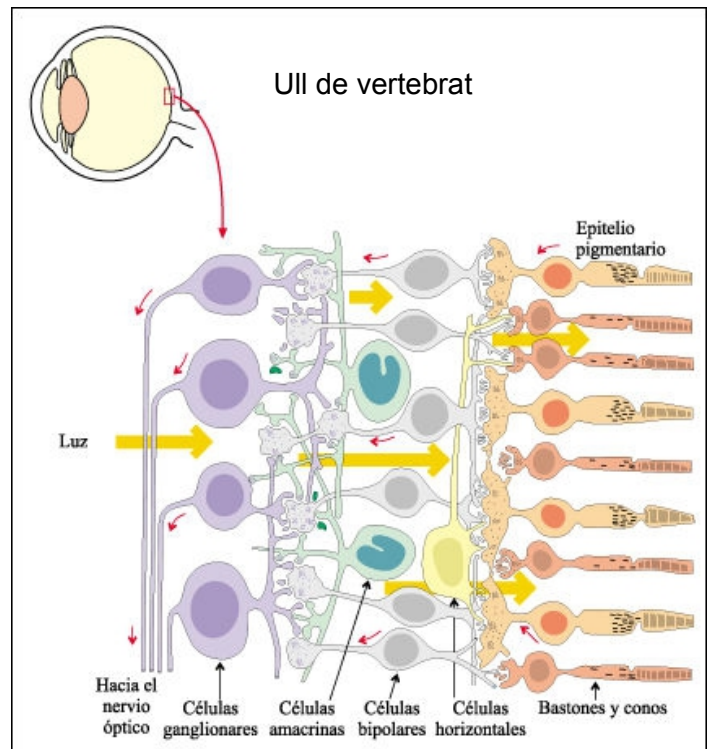
I no és difícil d'inventar. Basta amb una mutació que faça que dos cèl·lules fotosensibles es dividisquen quan no la toca. Quedarien tancades dins de la copa opaca, amb obertura comuna i lent comuna. És un bon ull este ull. Encara que només perceba ombres que apareixen i desapareixen. El tenen anèl·lids poliquets. És l'ull en cambra.

Però al ser més gran, l'obertura és més gran. I això fa que entre més llum però que la imatge siga menys nítida (com més llum entra més cèl·lules fotosensibles s'il·luminen i menys clar és on acaba i on comença el raig de llum). Així que va caldre inventar un sistema que regulara quanta llum entra: un iris. L'iris ajuda a enfocar, a fer nítida la imatge. A veure.

No obstant això, el fons de l'ull no està igual de ben organitzat en cefalòpodes i en nosaltres. Les nostres cèl·lules fotosensibles procedeixen del sistema nerviós. Estaven dins i van acabar eixint cap a fora. És com si el cervell haguera aguat a una finestra. Apunten en la direcció equivocada, cap al fons de l'ull. Per tant, el raig de llum ha de travessar la part posterior d'eixes cèl·lules. Això no és un avantatge. A més, com procedeixen del sistema nerviós, els vasos sanguinis estan per damunt, no per davall, com seria lògic. Com en els cefalòpodes. En ells tot és més fàcil. En ells les cèl·lules fotosensibles procedeixen de la pell. Apunten cap al lloc correcte i tenen els vasos sanguinis davall, com ha de ser. No obstant això, el cristal·lí seu és pitjor.



Ull de cefalòpode



L'ULL SIMPLE



Els ulls **simples** dels artròpodes són estructures fotoreceptores que funcionen com a òrgans de la visió en artròpodes. Podem diferenciar de l'ull simple pròpiament dita, l'**ocel**; els ocells es presenten en els hexàpodes, mentre que els ulls simples són propis dels quelicerats.

Ambdós presenten estructures molt semblants quant a components bàsics; en canvi, la seua organització és diferent.

Estructura

En general estan formats per tres components:

Component cuticular: Està format per les cèl·lules corneàgenes, i és la porció de cutícula baix la qual se situa l'òrgan receptor de la llum; és transparent, i actua de lent. Està format per una còrnia biconvexa o planoconvexa.

Component epidèrmic: **Format** per cèl·lules corneàgenes (és a dir, les que regeneren la còrnia) i pigmentàries. Les pigmentàries rodegen les cèl·lules visuals de forma dispersa, o se situen de forma contínua en les zones laterals. En els ulls simples, les cèl·lules corneàgenes són transparents, se situen davall la còrnia i formen el cos vitri. Açò mai es donarà en els ocells, ja que les cèl·lules corneàgenes se situen de forma circumdant.

Component sensorial

Format per cèl·lules visuals o retinianes, que formen rabdomes discontinus, i que són directes en els ocells i en els ulls simples dels limúlids i els laterals d'aràcnids, i són inversos en els ulls centrals d'aràcnids i en els ulls dels picnogónids.

L'estenmatidi com a ull simple particular

Aquells ulls **simples** on també hi ha cristal·lí, però que és acel·lular, es denominen **estenmatidis**. Són estructures exclusivament larvàries d'insectes holometàbols, i en els col·lèmbols. Ocupen el mateix lloc que ocuparan en l'adult els ulls compostos; quan es formen estos, els estenmatidis queden atrofiats. A més, l'estenmatidio té una retina de rabdoma continu, la qual cosa li diferencia d'ambdós, ull simple i ocell.



L'ULL COMPOST

Un **ull compost** és un òrgan visual que es troba en certs artròpodes com a insectes i crustacis. Consistix en l'agrupació d'entre 12 i diversos milers (6.300 en *Apis mellifera*) d'unitats receptives anomenades **ommatidis**. Els ommatidis són unitats sensorials formades per cèl·lules capaces de distingir entre la presència i la falta de llum i, en alguns casos, capaços de distingir entre colors. La imatge que percep un artròpode és el conjunt de senyals dels múltiples ommatidis orientats en direccions diferents. Contràriament a altres tipus d'ulls, no té una lent central o retina, la qual cosa implica una baixa resolució d'imatge. Així mateix, l'ull compost és capaç de detectar moviments ràpids, veu un ampli rang d'angle sòlid i, en alguns casos, percep la polarització de la llum. La sensibilitat de l'ull compost comença en la franja ultravioleta i arriba fins el taronja, no distingint el roig del gris.

Cada ommatidi consistix en una lent i un **rabdomer**, que consistix en un grup de cèl·lules receptores visuals posades en paral·lel o lleugerament girades.

Hi ha dos tipus bàsics d'ulls compostos:

- ♦ L'ull d'aposisió que es pot dividir en dos grups. El típic ull d'aposisió té una lent que enfoca la llum provinent d'una direcció sobre el rabdomer, mentre que la

llum provinent d'altres direccions s'absorbix en les parets fosques de l'ommatidi. L'altre tipus d'ull d'aposisió es troba en el Strepsiptera (orde d'insectes diminuts, paràsits obligats d'altres insectes), en el qual cada lent forma una imatge, i les imatges es combinen en el cervell. Este ull s'anomena ull de superposició neuronal o ull esquizocroal compost.

- ♦ El segon tipus s'anomena ull de superposició. Es dividix en tres tipus: superposició refracten-te, superposició reflectora i superposició parabòlica. L'ull de superposició refracten-te té una obertura entre la lent i el rabdòmer i no té paret. Cada lent reflectix la llum en un angle igual a l'angle que la rep. El resultat és la formació de la imatge en la mitat del radi de l'ull, on hi ha situades les testes dels rabdòmer. Este tipus d'ull es troba normalment en insectes nocturns. En els ulls compostos de superposició parabòlica, que es troben en artròpodes com les efímeres, cada faceta de la superfície de l'ull conté una superfície parabòlica que rep la llum d'un reflector i l'enfoca sobre una matriu de sensors. Els crustacis de cos llarg com a gambes, llagostins i llagostes són els únics que tenen ulls de superposició reflectora, que també tenen una obertura però que en compte de lents utilitzen diedres d'espills.

Hi ha algunes excepcions dels casos anteriors. Alguns insectes tenen el que es denomina un ull compost de lent simple, que és un cas intermedi entre l'ull compost de superposició i l'ull de lent simple que es troba en els animals d'ulls simples.

El cos de l'*Ophiocoma wendtii*, un tipus d'ofiuroidu, està coberta ommatidis, convertint tota la seua pell en un ull compost.

En els crustacis, els ulls són de dos tipus. El més simple és l'ull mitjà o naupli present



en les larves nauplius; és prou simple i està format per 3 o 4 xicotets ocells amb fotoreceptors que ajuden a la larva a determinar la situació del fons o de la capa superficial de l'aigua. Este ull pot romandre en els adults, però és més comú la presència de dos ulls compostos laterals, sobre un peduncle mòbil o sèssils. El seu camp visual sol ser gran, a vegades uns 180°, a causa de la còrnia convexa. El

nombre d'ommatidis és variable, des d'unes poques desenes fins als 14.000 del llamàntol.

En els quelicerats es poden diferenciar dos tipus d'ulls; els que en aràcnids se situen en posició lateral, o els que tenen els limúlids (carranc casseroles), que són de visió directa, i els que se situen centrals en aràcnids, que no existixen en limúlids, i són propis dels picnogònids (aràcnids aquàtics), que són de visió invertida o indirecta. En estos últims, es presenta l'estructura reflectora denominada *tapetum lucidum*.

L'ULL DELS CEFALÒPODES

L'ull dels cefalòpodes és un òrgan anàleg a l'ull dels vertebrats. Es forma a partir de plec en la pell de l'embrió, al contrari que els ulls dels vertebrats, formats a partir del mielencèfal. La seua estructura és semblant. Posseïx cristal·lí, escleròtica, retina i humor aquós. El nervi òptic és pràcticament inexistent ja que l'ull està separat tan sols per uns mil·límetres del lòbul òptic del cervell. Per tant, tota la informació es processa directament en el cervell.

L'ull dels cefalòpodes no té punt cec, ja que els ganglis i nervis se situen per darrere de la retina i no tapen eixa porció. El cristal·lí és rígid, de manera que per a enfocar es mou cap avant i cap arrere per mitjà d'un paquet muscular. Per tant, a major edat de l'organisme, major superfície ocular i major capacitat de moviment del cristal·lí que es tradueix en una major capacitat d'enfocament.

Els **rabdomers** són les cèl·lules fotosensibles dels cefalòpodes. Són de forma tubular, orientades cap a l'origen de la font de llum, la qual cosa es coneix com a visió *directa* i li dóna un cert aspecte de raspall a l'ull. Els rabdomers no creixen al llarg de la vida de l'animal, però si que augmenten el seu nombre proporcionant agudeses visual extra amb l'edat.

La gran majoria de cefalòpodes posseïxen tan sols un pigment en els seus rabdomers, la rodopsina, per la qual cosa al mancar també d'uns quants bancs de receptors no poden veure en color, llevat d'excepcions. Tampoc necessiten la visió en color en els foscos fons marins.

En els cefalòpodes l'enfocament no depén de la flexibilitat del cristal·lí sinó de que este es trobe a la distància apropiada de la retina. Com més creix l'animal més gran és l'ull, i atés que els rabdomers no varien de grandària en tota la vida, conforme augmenta la superfície retiniana es va entapissant per més cèl·lules fotosensibles. Per este motiu, els adults posseïxen una agudeses visual superior als jóvens.

Una altra important diferència és que la gran majoria dels cefalòpodes posseïxen un sol pigment visual, la rodopsina, amb pics d'absorció lluminosa que varien segons la forma de vida de cada espècie. Açò ha portat als científics a inferir que no són capaços de distingir els colors, perquè es necessitarien almenys dos pigments per a poder discriminar distintes longituds d'ona, és a dir, per a veure "en color". També es podrien diferenciar colors disposant d'un únic pigment si la retina tinguera uns quants bancs de receptors, per exemple, capes dobles de bastons. Una de les poques excepcions a esta generalitat es dóna en el calamar *Watasenia scintillans*, que pot veure en color.

Els resultats d'estudis fisiològics basats en electroretinogrames van recolzar les tesis de la visió monocromàtica. Paral·lelament, es van dur a terme experiències d'aprenentatge basats en les respostes dels polps davant d'estímuls visuals. Analitzant

el seu comportament al presentar-los peces de distinta grandària, brillantor, orientació i color, es va concloure que van ser capaços de discriminar-les en totes les proves, excepte en la del color. Tampoc necessiten la visió en color en els foscos fons marins.

Fonts:

<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/>