

DEL OJO HUMANO AL DEL INSECTO

(UN ENSAYO DE BIOLOGIA COMPARADA)

por

JUAN M. ORTIZ PICON

Profesor de la Universidad de Madrid y actualmente
de la Universidad del Cauca.

Conferencia dictada en el Centro Cultural Guillermo Valencia de la ciudad de Popayán. El autor de este trabajo, se complace en dedicarlo al mayorazgo del Maestro, Dr. Guillermo León Valencia, ex-Embajador de Colombia en España.

La fórmula favorita de Schopenhauer, "el mundo es mi representación", es verdad aplicable a todo ser viviente capaz de conocer, aunque, a diferencia del animal, sólo el hombre puede llegar a un conocimiento del mundo abstracto y reflexivo. Los animales y los hombres no somos criaturas anímicamente cerradas, porque estamos abiertos al mundo exterior por las ventanas que son nuestros sentidos. Y, de entre estos, es el de la visión el ventanal más amplio para el conocimiento del mundo circundante a nosotros; ventanal por el cual el mundo penetra y se proyecta en la conciencia anímica del ser animal, en el "yo" humano. Por esto, no es extraño que el autor de *El mundo como voluntad y como representación*, ya antes de haber publicado su magistral obra, se hubiera preocupado en elaborar una teoría de la visión y de los colores (1).

Von Uexküll, en su libro *Concepción biológica del universo* (2), dice que con los sentidos diferenciase también el modo de tener un mundo. Pues todo ser vive en la naturaleza dentro de un contorno que se hace en él perceptible mediante el concurso de las sensaciones palpadoras, olfativas, acústicas y visuales. Y el predominio relativo de unas sensaciones sobre otras es lo que convierte el contorno de cada animal en un mundo particular para cada especie. En aplicación y desarrollo de esta idea, dice Spengler (3) que "los herbívoros superiores son dominados por el oído y, sobre todo, por el olfato. Los rapaces superiores, en cambio, dominan por la mirada". En los mamíferos que no son rapaces (vacas, caballos, ovejas, conejos, etc.) la peculiar característica de su visión contribuye, junto con el oído y el olfato, a prevenir del peligro al animal para su huida. Todos esos animales tienen los ojos orientados lateralmente y cada ojo les proporciona una impresión distinta y carente de perspectiva, pero ambos ojos suministran al animal un campo de visualidad más amplio, como propio para mejor percepción de la posible llegada del enemigo; puede, pues, decirse que

- (1) Ueber das Sehen und die Farben, en Schopenhauer's saemmtliche Werke, Leipzig 1921.
- (2) Von Uexküll, Bausteine zu einer biologischen Weltanschauung, Muenchen 1913. (Trad. española, edit. Espasa-Calpe).
- (3) Spengler, El hombre y la técnica (trad. española, editada por Espasa-Calpe), Bilbao 1932.

es una "visión de defensa". En cambio, —de acuerdo con la tesis de Spengler— el ojo del animal de rapiña, como también el del hombre (que, según Spengler, es un animal de rapiña), actúa con una finalidad de dominio. "El hecho de que los dos ojos de los grandes animales rapaces puedan fijarse en un punto mismo de los alrededores, permíteles fascinar la presa. En la mirada enemiga está ya para la víctima el destino ineluctable, el salto del momento inmediato". (4).

Esa manera de mirar, con mayor concentración y fijeza por su campo visual restringido y común a ambos ojos, no es exclusiva de los grandes animales rapaces y del hombre que, como ellos, también vive atacando y aniquilando: Con análogos caracteres de fijeza, y quizá superada por mayor amplitud del campo visual (al objeto conjunto de ataque y defensa), la poseen también ciertos insectos de presa.



Fig. 1. — El ortóptero *Mantis* es el único insecto, según Fabre, "que dirige la mirada, que inspecciona y examina; casi tiene fisionomía". (Fotografía de Lorus y Margery J. Milne, tomada de la revista *Natural History*, vol. 56, núm. 7).

Hay un insecto de bella prestancia, cuya anatomía y comportamiento visual he tenido la curiosidad de analizar, que es un buen ejemplo de lo antedicho. Se trata del ortóptero *Mantis religiosa* (fig. 1) al que los aldeanos catalanes

(4) Spengler (loc. cit. págs. 35 y 36).

llaman "lou prego Deu" (5) (por su actitud semierguida, con sus dos grandes patas delanteras elevadas hacia adelante y unidas como manos en posición orante) y al que en Colombia conócese vulgarmente por "mata-caballo", aunque no es capaz de matar a tan grande cuadrúpedo pero sí a cualesquiera otros insectos de los cuales vorazmente se alimenta. Para dar idea del comportamiento visual de la Mantis nada más instructivo que lo expresado por el entomólogo Fabre (6) acerca de la actividad cazadora de dicho insecto: "A favor de un cuello flexible la cabeza puede girar sobre su eje, volverse a la derecha y a la izquierda, inclinarse y levantarse. De todos los insectos, la Mantis es el único que dirige la mirada, que inspecciona y examina; casi tiene fisionomía". "Al ver al gran saltamontes —prosigue Fabre en ulteriores párrafos— que es una de sus favoritas presas, la Mantis, sacudida por convulsivo sobresalto, se pone de súbito en aterradora postura: El insecto, arrogantemente plantado en las cuatro patas posteriores, mantiene su largo cuerpo casi vertical. Las patas capturadoras, al principio plegadas y aplicadas una contra otra delante del pecho, se abren todo lo amplias que son, como grandes cizallas que han de ser proyectadas hacia la presa. La Mantis, inmóvil en su extraña postura, vigila al acridio, con la mirada fija en su dirección y la cabeza girando un poco conforme él vá moviéndose. El objeto de esta mímica es evidente: la Mantis quiere aterrorizar, paralizar de espanto a la poderosa caza, que, nó desmoralizada por el terror, sería quizá demasiado peligrosa". "Nadie puede saber lo que entretanto pasa dentro de la reluciente cabeza del Decticus, ni tras la cara larga del saltamontes. Ningún signo de emoción se revela a nuestras miradas en sus caretas impasibles. No obstante, es cierto que el amenazado conoce el peligro. Ve levantarse delante de él a la espectral Mantis con sus garfios extendidos y prontos a aprehenderle; se siente enfrente de la muerte y no huye cuando aún hay tiempo para ello. El, que se distingue en el salto y que podría alejarse fácilmente de aquellas garras, permanece estúpidamente inmóvil, o aún se acerca a la Mantis, como atraído por su mirada".

De lo precedentemente expuesto parece poder deducirse que, al igual que entre los mamíferos, también entre los insectos existen dos modalidades de comportamiento visual al respecto de las relaciones entre el animal y su contorno en el mencionado sentido spengleriano: Unos insectos, tales que el saltamontes y la abeja (fig. 2) que poseen dos grandes ojos lateralizados (como destinados a proporcionar mayor campo visual), estarían dotados de una visión adecuada a la pronta percepción del peligro; es decir, como los herbívoros superiores tienen un aparato visual perfectamente organizado para una "visión de defensa". En cambio, ciertos insectos que, como la Mantis, se alimentan de presas vivas, dominarían a éstas con la mirada a semejanza de como acontece en el caso de los mamíferos rapaces.

Mas sí hay verdadera semejanza entre la construcción del ojo humano y su mirada con el mirar y los ojos de los grandes mamíferos rapaces, no la hay en absoluto entre los ojos de éstos y los del insecto superior y de rapiña. En este parecen combinarse las características anatómicas del ojo capaz de mirada fi-

(5) También en Alemania se conoce a este insecto con el sugestivo nombre de *Gottesanbeterin*, cuyo equivalente castellano es *rezadora*.

(6) Fabre, *Costumbres de los insectos* (trozos escogidos de la obra *Souvenirs entomologiques*), edit. Espasa-Galpe, Madrid 1944. Cit. págs. 66, 71 y 72.



Fig. 2. — La abeja obrera (*Apis mellifica*), cuyos grandes ojos están laterilizados, succionando el néctar de una flor. (Fotografía de Ernst Schaelow, tomada de la revista *Photographie und Forschung*, vol. 5, núm. 1).

ja y agresiva con las del ojo prominente que aumenta el campo visual para una mayor capacidad defensiva. Cabría preguntar, si esto supone un mayor perfeccionamiento del aparato visual de los insectos superiores respecto al del hombre y los vertebrados. Pero en esta cuestión, como en tantas otras, el examen de la Naturaleza y la valoración imparcial de los datos obtenidos desmiente las especulaciones teóricas que apriorísticamente pudieran haberse hecho con un criterio biológicamente evolucionista. Así, Cajal —quizá el anatómico que con más profundidad de detalle y mayor amplitud zoológica ha investigado el aparato de la visión— escribe en su libro autobiográfico (7) el siguiente párrafo: “No debo ocultar que en el estudio de la retina sentí por primera vez flaquear mi fé darwinista, abrumado y confundido por el soberano ingenio constructor que campea, no sólo en la retina y aparato dióptrico de los vertebrados, sino hasta en el ojo más ruin de los insectos”.

Resulta, en efecto, singular que mostrando la Naturaleza, por lo regular, idénticas líneas generales en el plan de organización constructiva de un mismo sistema orgánico —y aún de un mismo órgano— en animales de muy distinta jerarquía biológica (lo que representa el más firme fundamento de la teoría evolucionista), estén contruados los órganos visuales del insecto de manera tan diferente que los del hombre y demás vertebrados. Y la singularidad de este hecho acentuase al comprobar que, junto a esa diferencia, existe incluso una mayor complejidad en la fina textura del ojo del insecto superior que en la del más elevado vertebrado. Ello representa como un rotundo mentís del decimonónico mito darwinista...

Las peculiaridades de construcción del ojo del insecto superior comparativamente consideradas respecto a las del ojo humano, muestran tan compleja diversidad que casi puede decirse dejan a éste —ya de por sí sumamente com-

(7) Cajal, *Recuerdos de mi vida*, Madrid 1923 (3ª edic., pág. 389).

plicado— como de una sorprendente sencillez constructiva. Pero quizá contribuye a ello, acentuando engañosamente la complicación constructiva de los ojos del insecto respecto a los ojos del hombre, el más perfecto conocimiento que tenemos de la anatomía y fisiología del aparato visual de éste que del de aquellos pequeños animales. Sin embargo, las fundamentales discrepancias en el plan constructivo del ojo humano y del ojo del insecto superior, pueden ser expuestas con esquemática claridad en pocas páginas. Y su interpretación funcional nos ayudará a explicarnos las diferencias de visión que se dan en los insectos respecto a la imagen del mundo circundante que a los humanos nos es propia.

DE COMO ESTA CONSTITUIDO Y COMO FUNCIONA EL OJO HUMANO

Se ha dicho muchas veces que el ojo humano —como el de cualquier vertebrado— puede ser equiparado con un aparato fotográfico. En efecto (véase fig. 3), la cavidad del globo ocular representa la cámara oscura, por la pigmentación ocre-negruzca de la membrana **coroidea** que, junto con la **esclerótica**, constituye su pared intraorbitaria. Esta es, pues, opaca excepto en la parte anterior descubierta por los párpados —la **córnea**— que es transparente y permite el paso de la luz al interior del globo ocular. Este se encuentra ocupado por me-

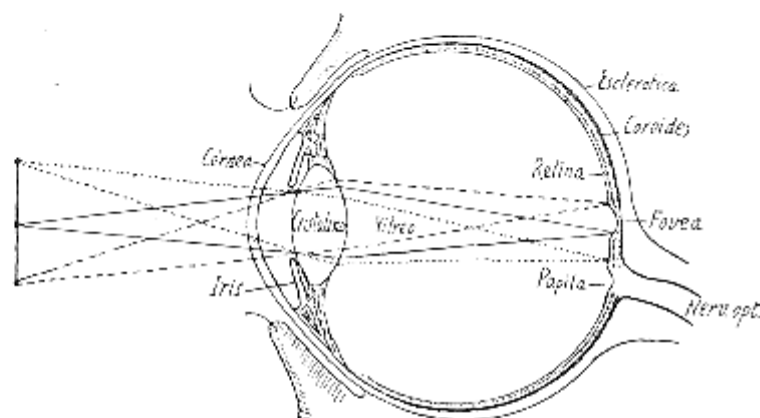


Fig. 3. — Esquema de la composición anatómica del ojo humano, en sección sagital media del globo ocular, y marcha de los rayos en la proyección de la imagen retiniana.

dios también transparentes y de distinto índice de refracción —el **humor acuoso**, el **cristalino** y el **humor vítreo**—, los cuales, sucesivamente dispuestos a lo largo del eje óptico, actúan como un sistema de lentes convergentes. A este **aparato dióptrico** u “objetivo”, funciona acoplado un “diafragma” —el **iris**— que regula la apertura de la pupila y con ello la cantidad de luz que penetra a la cámara ocular. El fondo de ésta se halla tapizado por una singular membrana nerviosa y fotosensible que es la **retina**, la cual se continúa con el nervio óptico que sale del globo ocular y penetra en el cerebro.

En el mecanismo visual del ojo humano, todos los rayos luminosos, proce-

dentes de objetos en presencia, que deja penetrar la apertura del iris son recogidos por el cristalino y demás medios refringentes del ojo, los cuales, a semejanza de un objetivo fotográfico, los proyectan sobre la retina. Esta recibe, por consiguiente, una imagen invertida de los objetos y de tanto menor tamaño cuanto más alejados se encuentren estos. La retina actúa a modo de una película fotográfica sin movimiento, pero que, en cambio, está permanentemente virgen y, por consiguiente, es apta para impresionarse fugaz y sucesivamente por las imágenes cambiantes sobre ella proyectadas. En lo que no hay parangón mecánico posible, es con la singular función sensorial de la retina: Esta, como un gánglio nervioso membraniforme aplanado, no sólo capta las imágenes en ella proyectadas, sino que las transforma en efluvios nerviosos que son transmitidos por los nervios ópticos al cerebro.

La retina está fundamentalmente constituida por multitud de diminutas células fotorreceptoras que, en forma de conos y de bastoncitos (así se les denomina científicamente), se disponen en estrecha contigüidad y como formando una empalizada perpendicularmente a la superficie receptora de la imagen. De suerte que esta se proyecta sobre un finísimo mosaico constituido por los extremos distales de los elementos fotorreceptores; tan diminutos son estos, que son necesarios muchos millares de ellos para cubrir la superficie de un milímetro cuadrado (por consiguiente, en los varios centímetros cuadrados de que consta cada membrana retiniana, se encuentran por millones). Cada una de estas células fotorreceptoras representa el eslabón periférico de una **cadena sináptica** —es decir, de una serie de células nerviosas articuladas (8)— y a través de ella se continúa al salir de la retina con una fibrilla nerviosa entre los millones de ellas que integran los nervios ópticos. Estos, en número de dos (uno para cada ojo) conducen las impresiones visuales desde la retina hasta el cerebro; de manera que cada punto luminoso, o impresión visual, recogido por un elemento fotorreceptor de la retina es transmitido desde este por la correspondiente fibrilla nerviosa al cerebro, en el cual se hace consciente como "sensación visual". La imagen total percibida por el conjunto de elementos fotorreceptores de cada ojo, es por ellos fraccionadamente seleccionada en multiplicidad de impresiones visuales que son reconstruidas como "imagen sensación" en el cerebro.

La coincidencia en el cerebro —a nivel de la corteza de su polo occipital— de la "imagen sensación" procedente de ambos ojos, como en un aparato estereoscópico y telemétrico, contribuye a evidenciar la sensación de relieve y de distancia. Pero, además, la conducción de la imagen retiniana de cada ojo se verifica fragmentariamente y de distinta manera —es decir, separadamente y por distinta vía para cada mitad del campo visual— en virtud de parcial entrecruzamiento, el **kiasma**, de las fibras que integran los nervios ópticos, como indica el esquema de la figura 4. Analizando este esquema, quizá el lector se pregunte por qué no vemos nuestro mundo circundante "cabeza abajo", puesto que las imágenes proyectadas en la retina y conducidas por los nervios ópticos al cerebro son invertidas. Profundizar aquí sobre esta cuestión carecería de sentido. Pues muy poco se sabe acerca del destino de los impulsos nerviosos y su transformación en percepciones visuales dentro del encéfalo. Digamos, tan solo, que los impulsos nerviosos elaborados y percibidos como sensaciones visuales al llegar a los centros ópticos corticales, deben experimentar profundas transforma-

(8) Más adelante (pág. 73) se tratará de la **cadena sináptica retiniana**.

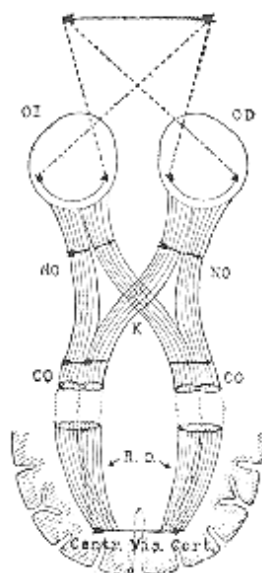


Fig. 4. — Representación esquemática del camino de la "imagen sensación", en la visión binocular, a través de los nervios ópticos y su proyección en el cerebro. — OI, ojo izquierdo; OD, ojo derecho; NO, nervios ópticos; K, kiasma; CO, cintillas ópticas (seccionadas en el esquema, en que se han omitido los centros ópticos intermediarios); RO, fibras ópticas radiantes que terminan en los centros visuales de la corteza occipital.

ciones a nivel de determinados centros ópticos intermediarios que están situados en el trayecto de las vías ópticas dentro del cerebro. Obvio es señalar, que se ignora en absoluto la esencia misma del mecanismo fenomenológico de la percepción visual por el cerebro.

Puede, pues, decirse que "vemos con el cerebro y por medio de los ojos". Por ello, una lesión que interrumpa las vías ópticas —mono o bilateralmente— o que afecte a la integridad de los centros visuales de la corteza cerebral, provoca la ceguera parcial o total, aunque los ojos estén absolutamente indemnes.

VER Y MIRAR DEL OJO HUMANO. — AGUDEZA VISUAL Y SELECTIVIDAD PERCEPTORA DE LOS FOTORRECEPTORES RETINIANOS

Ver no implica mirar; pero, sí lo inverso: mirar es poner en juego un factor psicológico para ver con atención concentrada en un campo visual muy restringido. Por eso se dice, justamente, del que mira que "fija la mirada". Pues bien, cuando se fija la mirada lo que ocurre es que se concentra la atención en la imagen captada por una determinada porción de la retina. Tal porción es una pequeña zona de depresión circular en la superficie de la retina y que se encuentra en el centro de ella, a nivel del extremo posterior del eje óptico, por lo que ha sido llamada *fovea centralis* (véase fig. 3). Dicha fovea o foseta es la única porción de la retina que está dotada de la llamada "visión distinta"; es decir, la única porción apta para captar una imagen nítida y detallada de los objetos. Es, pues, a dicha porción retiniana a la que corresponde la máxima agudeza visual.

Para comprender la particular organización anatómica que determina la mayor agudeza visual de la foseta, es preciso conocer algo acerca de la estructura histológica de la retina. El conocimiento de la textura de la retina humana

y de los vertebrados se debe principalmente a investigaciones de Cajal (9), cuyos resultados han permanecido inmodificados en lo esencial por ulteriores estudios que solo los han ampliado en pequeños detalles (10). Gracias a tal conocimiento se ha podido fundamentar racionalmente la explicación del mecanismo de muchos fenómenos visuales. Sobre tal base morfológica se han sustentado numerosos experimentos acerca de la significación funcional de los distintos elementos retinianos (11).

Ya ha sido mencionado que en la retina humana se distinguen dos tipos de células que actúan como elementos fotorreceptores: los conos y los bastones. A sus cabos distales se encuentra adosada una capa de células pigmentarias que, al absorber la luz, protege a aquellos de una luminosidad excesiva. Debajo de la empalizada formada por los conos y bastoncitos, y paralelamente a ella, se

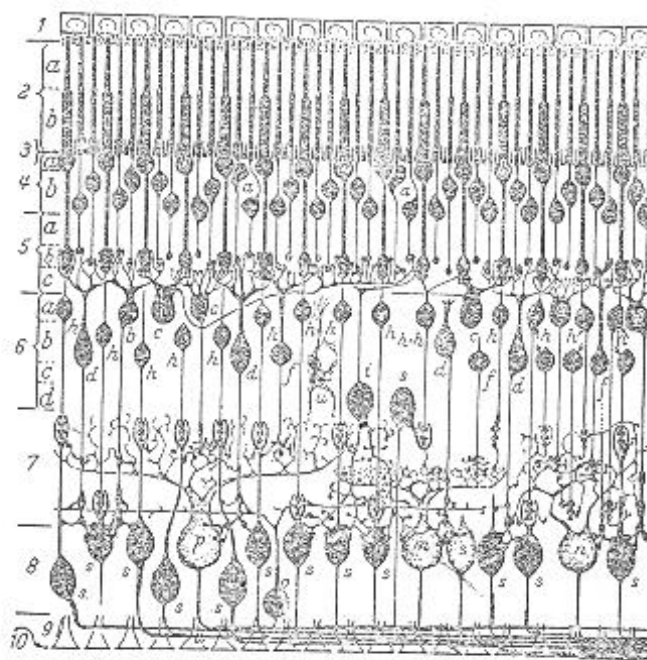


Fig. 5 - Esquema estructural de la retina humana en sección transversa a su grosor. (Tomada del libro de Polyak, *The Retina*). 1, epitelio pigmentario; 2-4 empalizada de elementos fotorreceptores (los finos son las células-bastones y los más gruesos las células-conos); 6, estrato de las células-bipolares que, en 5, muestran sus conexiones con los conos y bastones, y en 7 la otra conexión con las células ganglionares (en 8) cuyas expansiones forman la capa retiniana de fibras del nervio óptico (en 9). En 10, limitante interna de la retina.

- (9) Cajal, *Die Retina der Wirbelthiere*, Wiesbaden 1894. Véase también la parte dedicada a la retina en la monumental obra de Cajal *Histologie de système nerveux de l'homme et des vertébrés*, Paris 1909-1911. (Recientemente ha sido publicada en España una reimpresión de esta obra por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas).
- (10) Véase, Polyak, *The Retina*, University of Chicago Press 1941.
- (11) Véase el libro de Granit, *Sensory mechanisms of the retina*, Oxford University Press 1947, y el posterior trabajo monográfico del mismo autor *The organization of the vertebrate retinal elements*, publicado en la Revista alemana *Ergebnisse der Physiologie*, tomo 46, 1950.

encuentran otros dos estratos de células nerviosas; dispuestas a modo de filas sucesivas en el espesor de la retina: Inmediato a los elementos fotorreceptores se encuentra el estrato de las **células bipolares**, y subyacentemente a estas el de las **células gangliónicas** cuyas expansiones filiformes van a constituir la capa retiniana de las fibras del nervio óptico (fig. 5). Este emerge a nivel de una excavación de la retina, la llamada **papila** (fig. 3), carente de los estratos celulares antedichos por lo que no es fotosensible y corresponde al denominado "punto ciego de la retina". Según demostró Cajal, dichas tres clases de células nerviosas —elementos fotorreceptores, bipolares, gangliónicas— funcionan como **neuronas**: es decir, se hallan sucesivamente conexiadas a través del espesor de la retina, constituyendo como eslabones de lo que se denomina una "cadena sináptica", (fig. 6). Los conos y bastoncitos funcionan con significación de primera neurona excitable por la impresión lumínico-cromática; las células bipolares, o segunda neurona, actúan transmitiendo la excitación recogida por aquellos al tercer elemento neuronal representado por las células gangliónicas, las cuales están destinadas a conducir las excitaciones a los centros cerebrales por medio de sus expansiones constitutivas del nervio óptico. (figs. 6 y 7).

Parece demostrado que las excitaciones lumínicas percibidas por los conos son de naturaleza cromática, mientras que los bastones reaccionan a las débiles intensidades de luz incolora. Los bastones estarían, pues, adaptados para ver en la penumbra y no responderían de manera selectiva a las distintas longitudes



Figs. 6 y 7. — Placa conmemorativa del descubrimiento, debido a Cajal, de las conexiones neuronales correspondientes a los diversos elementos de la retina. El esquema, dibujado por Cajal y reproducido por el escultor Benlliure al modelar la placa, señala la marcha de los impulsos sensoriales a través de las distintas cadenas sinápticas correspondientes a bastones y a cono.

de onda de los rayos luminosos asociadas a las sensaciones de los colores (12). Estas se producen por la estimulación de los conos, los cuales poseen menor sensibilidad para los estímulos débiles de luz difusa e incolora; lo que implica que son los bastones los que actúan en el fenómeno de adaptación de la visión en la oscuridad relativa, mientras que los conos están adaptados especialmente para la visión diurna. Ambos tipos de excitaciones serían transmitidos de manera independiente por las respectivas cadenas sinápticas correspondientes a los conos y a los bastones, puesto que las articulaciones de los mismos —según lo demostró Cajal— son distintas (figura 6). Sin embargo, en la casi totalidad de la retina (excepción hecha de la fovea central) las variedades de células bipolares correspondientes a conos y a bastones entran en conexión sináptica con una misma célula gangliónica, lo cual sugiere que los impulsos que vienen de los conos y de los bastones se fundirían o se asociarían en dicha tercera neurona para ser conjuntamente transmitidos al encéfalo. En cambio, a nivel de la fovea las vías sinápticas aparecen más individualizadas por lo que respecta a las conexiones entre las células fotorreceptoras, bipolares correspondientes y células gangliónicas. De suerte que la excitación luminico-cromática recogida por cada elemento fotosensible propagarse a su correspondiente neurona bipolar y de ésta a una sola célula gangliónica y correspondiente fibrilla del nervio óptico. Habría, por consiguiente, conservación de la individualidad de la excitación sensorial desde el elemento fotorreceptor, especialmente sensibilizado a ella, hasta el cerebro; lo cual explica la notable agudeza visual de la fovea central. En ésta, por lo demás, como elementos fotorreceptores sólo existen conos, y son mucho más numerosos y finos que en el resto de la retina. Como cada cono ocupa un espacio equivalente a unas 4 milésimas de milímetro, se calcula que dos rayos procedentes de dos distintos puntos cuyas proyecciones formen entre sí un ángulo de abertura igual a un minuto se proyectarán en la fovea retiniana en puntos que disten entre sí cuatro milésimas de milímetro, pudiendo excitar dos conos contiguos cada uno de los cuales provoca una sensación distinta; pero si aquellos rayos forman un ángulo menor de un minuto, excitan el mismo cono y provocan una sensación única. A ese ángulo se le llama "ángulo límite" pues si es menor de un minuto la retina humana es incapaz de discriminar separadamente las imágenes de dos puntos próximos. Así está limitada —en absolutas condiciones de normalidad del aparato dióptrico— la máxima agudeza visual del ojo humano (13).

Respecto a percepción de movimientos, es lógico que, en concordancia a las referidas condiciones de agudeza visual, el movimiento de un objeto en el es-

- (12) El espectro visible se extiende entre las longitudes de onda comprendidas entre 760 milimicras (color rojo), y 400 milimicras (color violeta). El ojo humano distingue siete colores principales integrantes del espectro, que son: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul-verdoso, azul-añil y violeta, cuya fusión sensorial determinada la luz blanca. Existen personas con absoluta ceguera para percepción de los colores (las imágenes son de tonos grises a negros, como en una fotografía ordinaria) o particularmente para el rojo. Este defecto se denomina *daltonismo* y aquél otro, mucho más infrecuente, *acromatopsia*.
- (13) Carecería de mayor eficacia la existencia en la retina de una división aún más fina del mosaico de elementos fotorreceptores que la que corresponde a las posibilidades del sistema dióptrico del ojo.

pacio sólo será percibido si el cambio de posición de su imagen retiniana excede del área ocupada por un cono. Por lo demás, si el movimiento es muy rápido se aprecia la permanencia de la imagen a través del camino recorrido (cómo acontece al observar el curso de un chispa), lo cual es debido a la inercia de la retina para conservar las sensaciones un brevísimo tiempo (entre $1/20$ a $1/30$ de segundo) luego de haber actuado el estímulo. Por ello, si una luz se enciende intermitentemente con una frecuencia mayor de veinte veces en un segundo, no llegamos a percibir el centelleo sino que se nos aparece como iluminación constante. Gracias a tal inercia de la retina vemos sin interrupción las sucesivas imágenes de una película cinematográfica que nos dan la sensación de movimiento.

Hasta aquí sólo hemos considerado a la retina como un órgano fotosensible que transmite sus impresiones como impulsos nerviosos al cerebro. Pero también ella recibe impulsos procedentes del encéfalo; pues no todas las fibrillas nerviosas que integran el nervio óptico están formadas por las expansiones de las células gangliónicas de la retina, sino también por algunas fibras procedentes del cerebro, que van a terminar en conexión sináptica con ciertas células de la retina. Son las llamadas **fibras centrífugas** (descubiertas primeramente por Cajal en la retina de las aves y luego evidenciadas también en la retina humana), que muy probablemente son conductoras de los impulsos psíquicos determinantes de la "visión atenta".

No es pertinente aquí mayor pormenorización acerca de la textura y funcionamiento de la retina humana. Lo expuesto bastará para comprender las grandes diferencias que distinguen nuestra visión de la de los insectos.

LAS DOS CLASES DE OJOS DEL INSECTO

En los insectos se da el caso singularísimo de que son los únicos animales dotados de dos distintas clases de ojos: los llamados "ojos sencillos" u **ocelos** (14) y los "ojos compuestos" o grandes **ojos plurifacetados**. Estos, como es harto sabido, se encuentran a uno y otro lado de la cabeza, por tanto, siempre en nú-

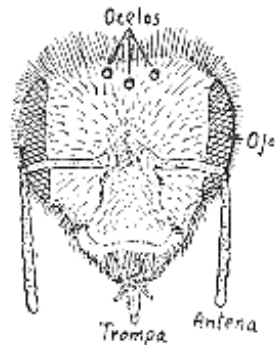


Fig. 8. — Cabeza de una abeja mostrando los tres ocelos simples (ocelos), dispuestos frontalmente en triángulo, y los dos grandes ojos compuestos (ojos plurifacetados).

mero de dos. En cambio, el número de ocelos varía en las diversas especies; pero lo más frecuente es que sean tres y estén colocados en triángulo sobre la calota cefálica o en la región frontal-media y entre los grandes ojos compuestos como acontece en la abeja (fig. 8).

(14) Ocelo, derivado del latín *ocellus* diminutivo de *oculus*, ojo.

En el diminuto ocelo pudiera verse cómo la estructura simplificada de un ojo, como un rudimentario aparato visual. Cada ocelo es como una vesícula que aflora a la superficie quitinosa del insecto en forma de un puntito brillante casi imperceptible, por su pequeñez, a simple vista. Tal vesiculita está ocupada por una esférula homogénea y translúcida que representa un **cristalino**. Este se encuentra revestido en su polo externo por una fina córnea quitinosa; a su hemisfera interna están adosadas una capa de células pigmentarias, y entre ellas —y subyacentemente a ellas— hay dos series de neuronas articuladas, que representan la **retina ocelar**. Retina reducida a una serie de elementos fotorreceptores, en forma de largos bastoncitos entremezclados con las células pigmentarias, y una serie de elementos transmisores o segunda neurona visual. Estas segundas neuronas comunican con el **gánglio cefálico** (o **protocerebro** del insecto) por intermedio del **nervio ocelar** (15).

Considérase que ojos de tan simplificada estructura representan a modo de "aparatos hiperfotosensibles" (semejantes a lo que en Física se denomina "célula fotoeléctrica") destinados, cuando más, a traducir los objetos en impresiones acromáticas imprecisas; y solamente serán eficaces para orientar al insecto durante la noche o en la penumbra de sus nidos y madrigueras.

Están dotados exclusivamente de ocelos ciertos insectos llamados **oligovisuales** (16), que sólo deben experimentar la visión imprecisa del claro-oscuro (mariposas nocturnas, escarabajos, hormigas, etc.), en los cuales aquellos actúan como un complemento de la información táctil proporcionada por las antenas. Más en ciertos insectos de organización visual superior (tales que las abejas y libélulas), a la visión acromática e imprecisa que deben proporcionarles los ocelos (quizá adaptados para la visión nocturna y crepuscular del insecto), se encuentran conjuntamente a aquellos, los dos grandes ojos más o menos prominentes y en cuya superficie el examen con lupa permite distinguir un fino mosaico de facetas hexagonales. Estos grandes ojos plurifacetados son los órganos para la visión diurna. Ellos proporcionan al insecto imágenes bastante precisas de formas y colores, y son capaces de percibir con extraordinaria sensibilidad los rápidos movimientos de otros animales y el colorido de flores que ejercen su atracción sobre tales insectos. Son, pues, dichos ojos plurifacetados y las características visuales de los mismos, lo que, al propósito que nos ocupa, interesa analizar.

DE COMO ESTA CONSTRUIDO Y COMO FUNCIONA EL OJO PLURIFACETADO DEL INSECTO SUPERIOR

Los ojos más perfeccionados del insecto superior recogen un extenso campo visual y proyectan su imagen previamente fraccionada por el aparato dióptrico en numerosas imágenes parciales sobre la retina. Es lo que ya a comienzos del siglo XIX el eminente fisiólogo alemán Johannes Müller llamó "visión en mosaico". Para ello, el ojo está compuesto por a modo de numerosos "ojos sim-

(15) Para más detalles, véase Cajal, **Observaciones sobre la estructura de los ocelos y vías nerviosas ocelares de algunos insectos**, trabajo monográfico publicado en **Trab. del Laboratorio de Invest. Biológicas de la Universidad de Madrid**, tomo 16, 1918.

(16) Del griego **oligos**, poco.

ples", llamados *omatidios* (17), los cuales tienen forma de largos prismas hexagonales radialmente orientados hacia la superficie del globo ocular y están delimitados —y unidos entre sí— por finas membranas quitinosas. Como cada omatidio posee externamente una cubierta —la *corneola*—, la superficie del ojo aparece, por reunión de las corneolas, como un mosaico de losetas hexagonales. De aquí el aspecto plurifacetado que presenta el "ojo compuesto". (La representación esquematizada de la figura 9, da una idea bastante clara de ello). Debajo de cada corneola hay un corpúsculo refringente —el *cono cristalino*— que, juntamente con aquella, representa el sistema dióptrico del omatidio. Pero, además, a cada corneola y subyacente cono cristalino corresponde uno o varios elemen-

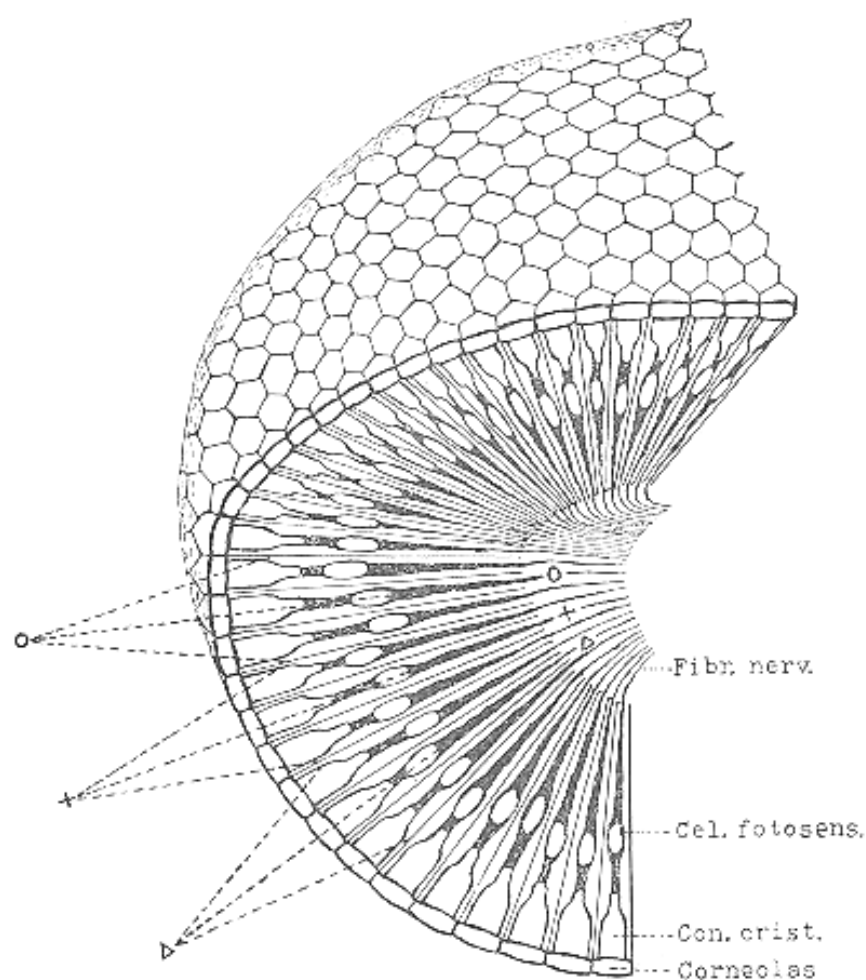


Fig. 9. — Esquema del ojo plurifacetado del insecto superior. El globo ocular aparece seccionado en un sector. Marcadas con un círculo, una cruz y un triángulo la proyección de los puntos correspondientes en el campo visual, a través de los omatidios, en la retina externa o periférica.

(17) *Omatidio* es un neologismo derivado del griego *ommatos*, ojo, y *eidos*, aspecto.

tos fotosensibles (homologables a los bastoncitos de la retina de los vertebrados) y que representan la *retinula* del omatidio. Cada omatidio está aislado fotogénicamente por denso forro de pigmento que le convierte en una cámara oscura, lo que impide pasen los rayos lumínicos de unos omatidios a otros. Cada uno de ellos recoge solamente los rayos lumínicos dirigidos en el sentido de su eje, proyectándoles a través de su corneola y cono cristalino sobre el correspondiente elemento fotosensible. Sólo llegan a percepción de éste los rayos axiales del haz lumínico que haya penetrado a través de la corneola; porque los rayos periféricos de dicho haz, refractados oblicuamente al eje del omatidio, son absorbidos por el forro pigmentario de su pared, y, en consecuencia, no impresionan a las células fotorreceptoras. Por consiguiente, la imagen total del campo visual formada en la retina del ojo compuesto, está integrada por el conjunto de las imágenes parciales recogidas por los omatidios; es, pues, en efecto, como un mosaico de imágenes fragmentarias y tanto más numerosas cuanto mayor sea el número de omatidios constituyentes del ojo. Esta particularidad, guarda estrecha relación con el grado de agudeza visual del ojo del insecto, según será expuesto más adelante.

Por lo demás, la imagen total proyectada en la retina por el conjunto de los omatidios es directa (y no invertida, como acontece en la retina del hombre y de los vertebrados); pues, en la retina del ojo compuesto del insecto la ordenación del sinnúmero de imágenes parciales proyectadas por los omatidios corresponden a su verdadera posición en el campo visual (véase fig. 9). No obstante, quizá cada imagen fragmentaria proyectada por los medios dióptricos del omatidio sobre su *retinula*, sea una imagen invertida; de suerte, que el mosaico de imágenes de las *retinulas* represente un "mosaico de imágenes translocadas". Esto vendría a explicar el por qué de ciertos singularísimos entrecruzamientos de fibrillas nerviosas existentes en la retina profunda del insecto y de los cuales será hecha referencia más adelante.

Obvio es señalar que, a diferencia del ojo del vertebrado, el ojo del insecto carece de pupila y su retina de algo semejante a una foseta central para visión distinta. Mas, a semejanza de lo que acontece en los vertebrados superiores, para que los ojos de insecto superior puedan ver en diferentes direcciones y a distinta distancia con precisión suficiente, están dotados de músculos en ellos insertados capaces de mover el globo ocular y de un aparato de acomodación que altera la relación del sistema dióptrico a la retina (18).

DE LA EXTRAORDINARIA COMPLEJIDAD TEXTURAL DE LA RETINA DEL INSECTO SUPERIOR Y ENIGMATISMO DE SU SIGNIFICACION

Si el ojo plurifacetado del insecto superior muestra tan distinto plan de organización respecto al ojo del vertebrado; la estructura de la retina y vías ópticas de aquél aparecen con diferencias quizá aún más acusadas respecto a estos. Tratando de establecer un paralelismo —en parte, casi imposible— diríase que el con-

(18) La capacidad de mover el globo ocular a voluntad sólo parece válida para algunos insectos superiores, y es particularmente evidente en ciertos artrópodos acuáticos (cangrejos, langostas marinas) los cuales mueven todo un apéndice cefálico con el ojo en su extremo. (Véase, Exner: *Die Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten*, Leipzig & Wien 1891).

junto de elementos fotosensibles de los omatidios, es decir, las retinulas, representa en el ojo del insecto al estrato de conos y bastoncitos de la retina del vertebrado. Cajal denomina a dicho conjunto de elementos fotosensibles **retina periférica**, pues subvacuamente hay una zona nerviosa fasciculada a la que pasan expansiones de las células fotorreceptoras desde el fondo del ojo para conectarse con ciertas células nerviosas equiparables a la segunda neurona de la cadena sináptica (célula bipolar de la retina del vertebrado). A esta zona retiniana le llama Cajal **retina intermediaria**, porque está también unida —por fibrillas nerviosas parcialmente entrecruzadas (el **kiasma retiniano externo**)— a una formación gangliónica semilunar denominada por Cajal **retina profunda**, donde reside la tercera neurona de la cadena sináptica (figs. 10 y 11). Esta tercera porción retiniana representa, en realidad, un lóbulo óptico del protocerebro

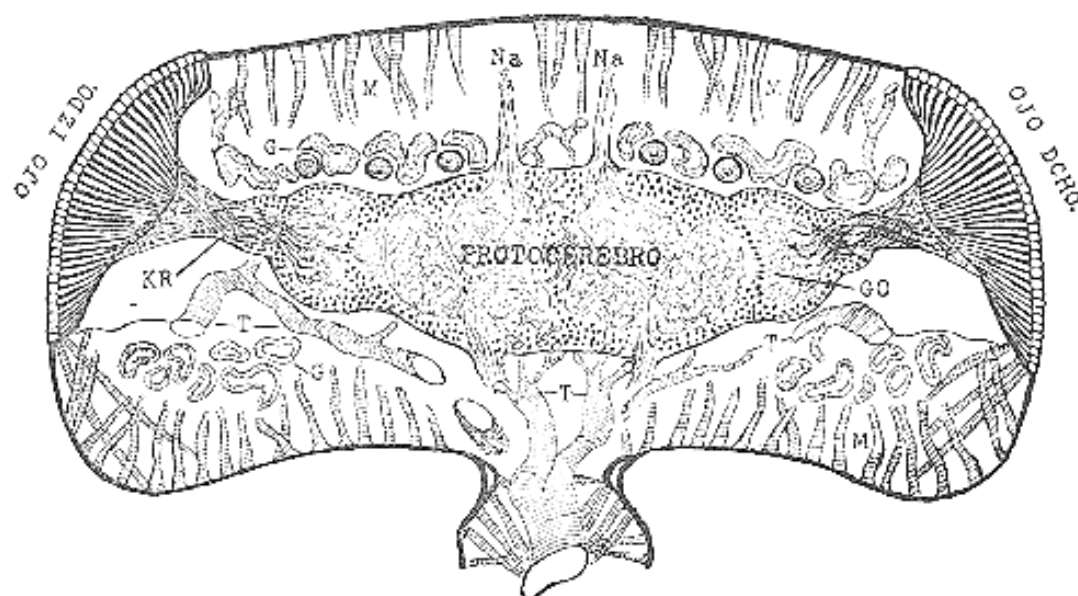


Fig. 10. — Esquema de un corte horizontal de la cabeza de una abeja obrera, pasando a través de los ojos, vías ópticas y protocerebro. KR, kiasma retiniano; GO, ganglio óptico; Na, nervios antenales; G, glándulas salivales; M, músculos; T, tráqueas. (Dibujado de una preparación histológica del autor).

del insecto, pues se enlaza estrechamente al diminuto cerebro por intermedio de otro entrecruzamiento de fibras nerviosas llamado **kiasma interno** (19). Constituyen estos kiasmas una de las mayores originalidades de la retina del insecto. ¿Cuál es su significación? Quizá consista en rectificar la probable translocación de las imágenes parciales —de las impresiones— recogidas por cada una de las retinulas. A semejanza de la retina del vertebrado, también la del insecto posee fibras centrifugas procedentes de su protocerebro; fibras que, al tratar de

(19) Cajal: Contribución al conocimiento de los centros nerviosos de los insectos. Primera parte: Retina y centros ópticos. Extenso estudio monográfico, en colaboración con el naturalista Dr. Sánchez, publicado en Trab. del Lab. de Invest. Biológicas de la Universidad de Madrid, tomo 13, 1915.

su significación en la retina humana, hemos considerado como propias para una "visión atenta".

No es apenas factible divulgar compendialmente la profusión de datos producto de las investigaciones de Cajal sobre la retina de abejas, moscas, libélulas y otros insectos; sería, por lo demás, impropio en un artículo como el presente. Para dar idea al lector de la complicada estructura y singularísima organización de la retina del insecto superior, nada mejor que transcribir aquí lo que a Cajal sugieren sus propias investigaciones:

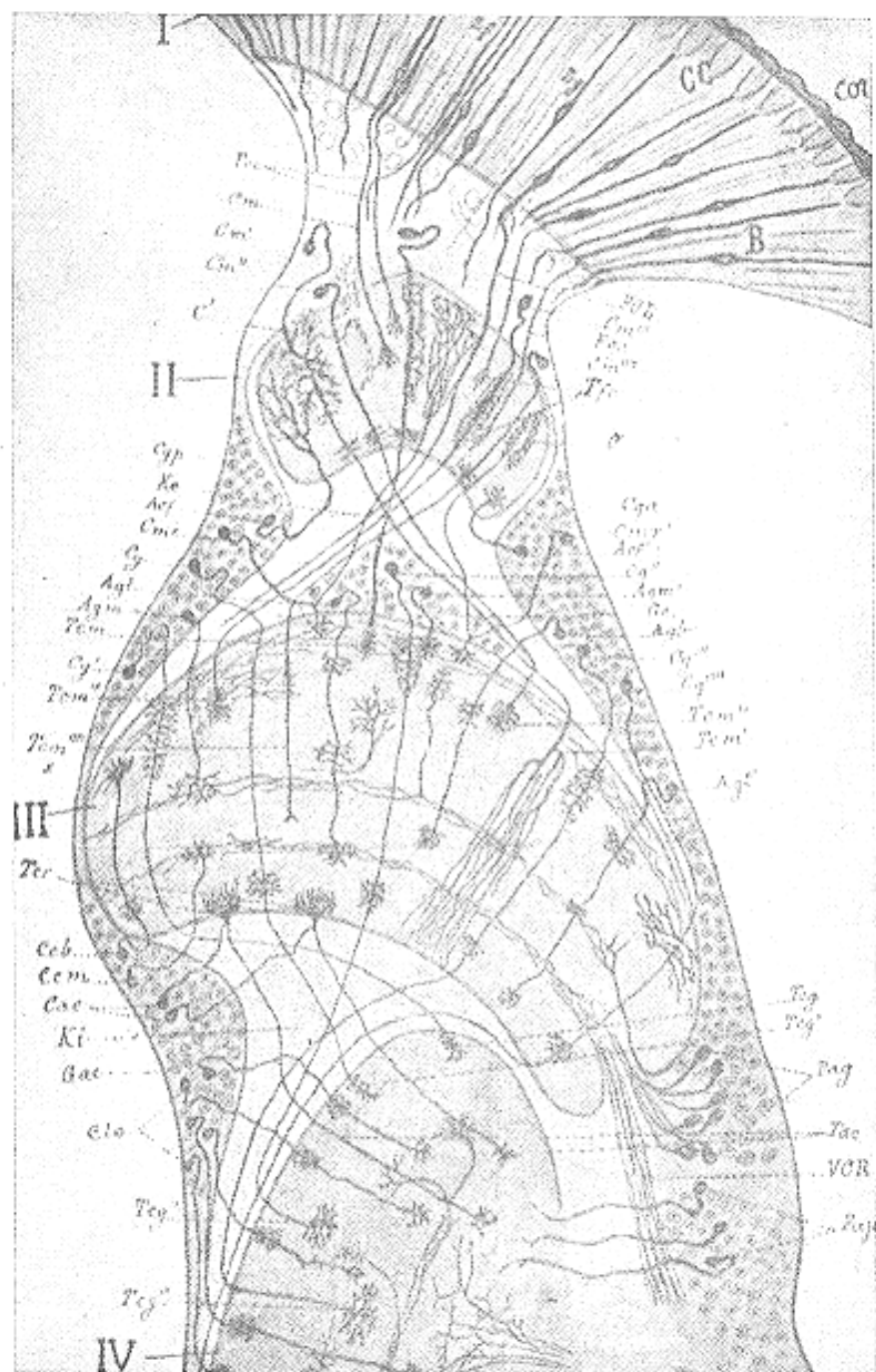
"La complicación de la retina de los insectos —escribe textualmente Cajal (20)— es algo estupendo, desconcertante, sin precedentes en los demás animales. Cuando se considera la inextricable urdimbre de los ojos compuestos o en facetas; cuando se interna uno en el laberinto de neuronas y fibras integrantes de los tres grandes segmentos retinianos (capa de las ommatidias, retina intermedia o **perióptico**, retina interna o **epióptico**, etc); cuando se sorprenden, no un kiasma, como en los vertebrados, sino tres kiasmas sucesivos de significación enigmática, amén de inagotable caudal de células amacrinas y de **fibras centrifugas**; cuando se medita, en fin, acerca del infinito número y primoroso ajuste de todos estos factores histológicos, tan sutiles, que los más potentes objetivos consienten apenas su percepción, queda uno anonadado. ¡Y yo que, engañado por el malhadado prejuicio de la **seriación progresiva** de las estructuras zoológicas de función similar, esperaba encontrarme con un plan estructural sencillísimo y fácilmente abordable! Sin duda que zoólogos, anatómicos y psicólogos han calumniado a los insectos. Comparada con la retina de estos al parecer humildes representantes de la vida (himenópteros, lepidópteros y neurópteros), la retina del ave o del mamífero superior se nos aparece como algo grosero, basto y deplorablemente elemental. La comparación del rudo reloj de pared con exquisita y diminuta saboneta no da exacta idea del contraste. Porque el **ojo-saboneta** del insecto superior no consta solamente de más tenues rodajes, sino que entraña además varios órganos complicadísimos, sin representación en los vertebrados".

DE COMO VEN SU MUNDO LOS INSECTOS

Ningún humano ha penetrado en la intimidad espiritual del insecto para saber cómo vé éste "su mundo" circundante. Pero, de la estructura de sus ojos y de algunos experimentos, puede deducirse, bastante fundadamente, algo acerca de la capacidad de percepción de las formas de los objetos, del color de los mismos y de sus movimientos, por esos tan pequeños y complejos seres que son los insectos.

Como en la referida "visión en mosaico" del insecto, cada uno de los ommatidios contribuye fragmentariamente con un punto luminoso —por impresión de una sola célula fotorreceptora— a formar la imagen total en la retina, pudiérase considerar comparativamente la formación de tal imagen total con la modalidad de reproducción en fotograbado. Es sabido que si se examina, con una lupa, una imagen obtenida por fotograbado, se descompone en numerosos puntitos; y que el detalle con que aparece tal imagen a nuestra visión ordinaria es tanto más fino cuanto más pequeños y numerosos son aquellos puntitos por unidad de su-

(20) Cajal: *Recuerdos de mi vida*, Madrid 1923 (3ª edic., páginas 389 y 390).



1. — Esquema de la retina y centros ópticos de la abeja (según Cajal y Sánchez). I, retina periférica; II, retina intermediaria; III, retina, profunda; IV lóbulo óptico del cerebro. Cor, corneolas; CC, conos cristalinos; B; células fotorreceptores en forma de bastoncitos que terminan en la retina intermediaria; Cm, neurona que recoge la excitación aportada por las células fotorreceptoras y que en Tem se conecta con la tercera neurona (Cg) colectora de la excitación.

perficie del fotograbado. Este ejemplo ayudará al lector para comprender el por qué del hecho de que cuanto más numerosos y diminutos sean los omatidios de un ojo compuesto, tanto mayor será la agudeza visual del insecto a que pertenezca. Se sabe que cada uno de los dos ojos plurifacetados de la abeja está integrado por unos 8.000 omatidios y que el número de éstos llega a 20.000 en el ojo de la libélula. Por mis propias observaciones, estimo que los ojos de la Mantis son, por lo menos, tan plurifacetados como los de la libélula. La visión de estos insectos debe ser, pues, bastante más luminosa y detallada que la de las abejas.

Puede calcularse matemáticamente la agudeza visual de un ojo plurifacetado considerando la abertura de los ángulos formados por los ejes de los omatidios (todos ellos simétricamente iguales en un mismo ojo); ya que las imágenes fragmentarias que cada una de las corneolas y conos cristalinos proyectan sobre las respectivas retinulas se hacen distintas en éstas como un punto (para cada omatidio) de la total imagen retiniana. Los rayos procedentes de varios puntos muy próximos del objeto, recogidos y proyectados por una misma corneola se hacen indistintos —es decir, no se definen— en la percepción retiniana, puesto que sólo interviene en ella una célula fotorreceptora de los rayos axiales al omatidio (fig. 9). Para el ojo de la abeja dichos ángulos tienen aproximadamente la abertura de un grado de círculo. Este es, pues, el llamado "ángulo límite" para el ojo de la abeja, porque dos puntos proyectados bajo un ángulo más cerrado que un grado no se hacen distintos en su retina. Sí, como quedó oportunamente expresado, el ojo humano de normal agudeza visual es capaz de percibir dos puntos cuya separación angular sea hasta solo un minuto, puede deducirse que la agudeza visual de la abeja debe de ser unas sesenta veces menor que la nuestra. Los ojos de mántidos y libelúlidos, integrados por casi el triple número de omatidios que los de las abejas, y con ángulos límites proporcionalmente más cerrados que en éstas, probablemente están dotados de una visión más perfecta del detalle de los objetos, aunque mucho menos definidora que la del ojo humano.

Que la visión del insecto es poco detallada en las formas de los objetos, lo comprueban experimentos efectuados principalmente con abejas. Consisten tales experimentos en "educar" a dichos animalitos a que recojan miel, u otra sustancia azucarada, depositada sobre cartulinas blancas en que están dibujadas, vigorosamente en negro, determinadas figuras. Habitadas las abejas a encontrar el dulce manjar sobre una cruz y no sobre un círculo, se dirigirán y posarán siempre en la cartulina en que esté dibujada la cruz aunque ésta carezca alguna vez del manjar, y no a la marcada con el círculo. El mismo experimento puede hacerse a la inversa (colocando el manjar azucarado sobre el círculo y no sobre la cruz) con nuevas abejas "educadas" previamente, obteniéndose idéntico resultado. Esto indica que el insecto distingue una cruz de un círculo. Análogos experimentos han demostrado que las abejas distinguen entre sí diversas formas florales (fig. 12 A y B). En cambio, resulta sorprendente su incapacidad para distinguir un círculo de un cuadrilátero (fig. 12, C y D), o los trazos de una cruz, de otros cuatro trazos formando cuadro (fig. 12, E y F); pero sí distinguen perfectamente aquellas figuras de éstas. Según von Frisch —de cuyo precioso libro acerca de la vida de las abejas (21) tomo estos datos— debe deducirse que uno de los caracteres de configuración de los dibujos geométricos que para nosotros es de orden secundario, el grado de membración y articulación de sus partes,

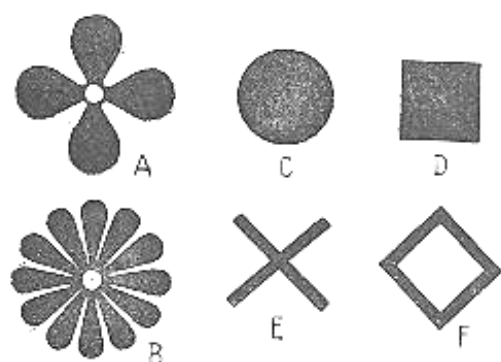


Fig. 12. — A y B, formas florales que son perfectamente distinguidas por las abejas. Las figuras C y D, así como las E y F, son confundidas por dichos insectos; pero éstos sí distinguen aquellas figuras de éstas. (Copiada del libro de von Frisch, *Aus dem Leben der Bienen*).

parece ser para el ojo de la abeja de primordial significación.

La precaria agudeza visual del ojo del insecto superior, en comparación a la del ojo humano, contrasta con la capacidad mucho mayor de aquél para percibir rapidísimos estímulos visuales. Pues, como ha sido expresado en otro lugar de este trabajo, la inercia de nuestra retina nos impide la percepción del centelleo cuando una luz se enciende y se apaga muchas veces durante un segundo, o percibir la interposición de brevísimos períodos de oscuridad entre las sucesivas imágenes durante la proyección de una película cinematográfica. A este respecto, dice von Frisch (22) que "si hubiera un cine para las abejas, por el aparato proyector deberían pasar más de 200 imágenes en cada segundo para que las abejas no protestasen del centelleo". Esto implica que la retina de la abeja es capaz de captar en un segundo diez veces mayor número de imágenes que nuestra retina. El ojo del insecto superior parece, pues, concebido para la más perfecta percepción de los veloces desplazamientos relativos del mundo circundante; es decir, tanto para percibir el rápido movimiento de otros animales, como para captar las cambiantes imágenes del estático panorama que se reflejan en los ojos del insecto durante su rápido vuelo.

Es obvio que el insecto superior percibe y distingue los colores. Hasta el más indolente adquiere intuición de esto cuando, en campos y jardines, contempla los revoloteos y posadas de mariposas, abejas y avispas sobre las flores multicolores. Mas ello no supone que el insecto perciba todos los colores tal como a nosotros aparecen.

Mediante experimentos de "educación" del insecto (semejantes a los referidos a propósito de la percepción de las formas) a cada determinado color, se ha comprobado que las abejas distinguen perfectamente el amarillo, el verde y el azul; pero se comportan como un daltónico, es decir, confunden el rojo con el negro o el gris oscuro, y el rosa con un gris de tonalidad clara. La realidad de tal ceguera para el rojo diríase apoyada por la observación natural de que las flores rojas (de color rojo-escarlata, pero no rojo-púrpura), tales que rododendros y artánitas, no parecen ejercer atracción sobre las abejas; y que en el transporte del polen de las abundantes flores de color rojo-escarlata existentes en el trópico —como algunos lirios y campánulas— no intervienen los insectos sino los

(21) Von Frisch: *Aus dem Leben der Bienen* (5ª edic. Springer Vrlg. Berlin-Goettingen-Heidelberg 1953).

(22) Obra citada, página 82.

diminutos pajarillos llamados colibríes o "pájaros-moscas". Pero, a cambio de su incapacidad para percibir el rojo, el ojo del insecto goza la sorprendente propiedad de percibir el "color ultravioleta" (23) por lo que puede ver fenómenos cromáticos que son invisibles para nosotros.

La proyección en la oscuridad de rayos ultravioleta, no perceptibles para nosotros, produce una impresión en el insecto. Mas ¿qué sensación cromática es la que éste experimenta? Nuestros métodos analíticos son insuficientes para dilucidar esta cuestión. Sin embargo, los conocimientos acerca de la física de los rayos luminosos y de la óptica fisiológica, nos ayudan para deducir qué fenómenos de cromatismo se producen por la presencia o por la ausencia de los rayos ultravioletas en la luz que impresione la retina del insecto. Así, por ejemplo, sabemos que la luz blanca es una mezcla de radiaciones luminicas de distintas longitudes de onda y que vemos separadamente dichas radiaciones como colores distintos cuando descomponemos la luz blanca a su paso por un prisma. Inversamente, podemos recomponer la luz blanca haciendo pasar todos esos rayos coloreados por un prisma. Pero si antes de ello, eliminamos mediante un filtro cromático uno de los colores componentes de la luz blanca, entonces la luz resultante de la mezcla de los demás colores no será blanca, sino del color "complementario" del correspondiente a los rayos eliminados. Para la visión del insecto es presumible que ocurra lo mismo. Pero hay que tener en cuenta que en la composición de la luz "blanca" del insecto entran los rayos ultravioleta. Por ello, se estima que las flores blancas (margaritas, nardos, azaleas y rosas blancas) cuyos pétalos actúan como filtros de radiaciones ultravioletas, deben aparecer como flores azul-verdosas para la visión del insecto, porque el azul-verdoso es el color complementario del ultravioleta. Asimismo, se estima que algunas flores rojas —por ejemplo, las amapolas, en cuya fecundación intervienen mariposas, avispas y abejas— son perceptibles por los insectos como flores de "color ultravioleta", porque junto con los rayos rojos (únicos visibles para nosotros, pero no para el insecto) emiten rayos ultravioleta.

Todavía se considera al ojo del insecto apto para una sensibilidad visual aún más distinta de la nuestra, y, por consiguiente, a nuestro parecer, aún más sorprendente y maravillosa: Se trata de la facultad de percepción de la luz polarizada, que nosotros sólo podemos percibir produciéndola artificialmente y gracias a la ayuda de ciertos dispositivos ópticos. Sin embargo, en la Naturaleza se produce espontáneamente luz polarizada: por ejemplo, la luz del sol reflejada por un lago, o por una superficie pulida y húmeda, es en gran parte luz polarizada. Nosotros no lo percibimos, porque para nuestros ojos entre luz natural y luz polarizada no hay diferencia alguna. Mas para los ojos de los insectos la luz polarizada es algo especial; pueden los insectos reconocer la dirección de las ondulaciones luminicas, lo que utilizan para su orientación en el espacio. Estímase que dicha facultad se debe a que los sistemas dióptricos de los oma-

(23) Comparativamente al ojo humano, para el ojo del insecto la zona visible del espectro está desviada hacia ondas más cortas. Pues, según lo expresado en la nota al pie de la página 74, a nuestra retina le estimula sólo la luz cuya longitud de onda oscila entre 760 y 400 milimicras, por lo cual la luz infrarroja y la ultravioleta resultan invisibles. En cambio, para el insecto la parte visible del espectro comienza en los rayos de 650 milimicras (luz amarilla) y se extiende hasta los de 300 milimicras que corresponden al "color ultravioleta".

tidios y sus correspondientes células fotorreceptoras son birrefringentes y que cada omatidio, con su eje óptico diversamente orientado respecto a los demás, actúa a manera de un aparato analizador para luz polarizada.

LOS INSECTOS PARECEN SERES DE OTRA CREACION, DE OTRO MUNDO DISTINTO DEL NUESTRO

Hecha excepción de sus homologías funcionales, no cabe parangón entre el ojo humano y el del insecto superior. Ambos representan la mayor complejidad de estructura junto a la máxima perfección funcional alcanzadas en la Naturaleza para el sentido de la visión. Mas, como ha quedado expuesto, los ojos del hombre y los del insecto aparecen contruidos bajo normas absolutamente distintas; como concebidos en esos pequeños seres para una visión de calidades no inferiores, sino distintas, de la visión que nos es propia. No es preciso mencionar cómo vemos los humanos el mundo, puesto que todos nosotros poseemos de ello un conocimiento específicamente subjetivo. A nuestro análisis, parece que el insecto superior debe percibir el mundo como conjunto de imágenes, relativamente poco luminosas, de formas imprecisas o poco detalladas y preponderantemente impregnadas de amarillos y azules puros ó con tonalidades más o menos verdosas. Imaginamos que la visión del insecto superior volando a plena luz diurna sobre un campo de flores, debe ser algo semejante a una visión de puntos cromáticos irisados y fugaces, integrantes de formas con contornos poco nítidos. Algo comparable, para nosotros, a la contemplación de una pintura impresionista a corta distancia del cuadro. A cambio de la deficiencia de percepción de las formas a través de las pinceladas cromáticas, estas vibrarían y se desplazarían rápidamente en el campo visual del insecto, como expresión de su altísima sensibilidad para percibir los movimientos.

El insecto superior es un sér tan singular y complejo, y al parecer tan evolucionando respecto a los demás artrópodos e invertebrados, que está justificada la admirativa curiosidad que ha provocado en no pocas mentes egregias y, en cierto modo, incluso ajenas a los estudios entomológicos. Algunos hasta han llegado a admitir que las abejas y las hormigas, como otros insectos sociales, aparte del instinto tienen cierta capacidad de discernimiento que les hace superar contingencias imprevistas a su naturaleza (24). Y es que, en verdad, los insectos superiores aparecen como singular cúspide evolutiva de la escala de animales invertebrados, pues el perfeccionamiento biológico del insecto rebasa el de muchos vertebrados. A este respecto, dice Cajal en sus *Recuerdos* (25), seguidamente de haberse referido a la complicación estructural de la retina de los insectos: "Con arreglo a los mismos principios está organizado el cerebro, asombro a la par de ingeniosa sutileza y maravillosa adaptación. Nunca mejor aplicado el conocido adagio latino: *in tenuis labor*. Penetrando con el microscopio en esas liliputienses y, sin embargo, frondosísimas selvas neuronales del gauglio ce-

(24) Véase, Maeterlinck: *La vie des fourmis* y *La vie des abeilles*. (Hay traducción española de ambas obras, publicadas por "Colección Austral" núms. 557 y 606, edit. Espasa-Calpe, Buenos Aires 1946).

(25) Cajal: *Recuerdos de mi vida*, Madrid 1923 (3 edic., pág. 390).

rebroides de la abeja, se siente la tentación de creer que lo desdeñosamente llamado por los psicólogos *ciego instinto* (la intuición de Bergson), es soberana manifestación del genio, como afirmaba Fabre. Genio del conocer profundo e instantáneo, surgido por primera vez en estos pequeños y antiguos seres, para apagarse después, durante miríadas de siglos, en las groseras construcciones cerebrales del verme, del pez, del batracio y del reptil".

Tan perfecto y distinto en su organización biológica es el minúsculo y vitalmente efímero insecto respecto del gigantesco y longevo vertebrado, que ambos no pueden ser comparados, ni evolutivamente conexiados. Resulta vano aferrarse a una biofilosofía de criterio evolucionista. Por la organización de su aparato visual, quizá aún más acusadamente que por las demás particularidades, los insectos aparecen, respecto de los vertebrados y del hombre, como seres pertenecientes a otra Creación; quiero decir, a otro mundo distinto del nuestro.
