

ESTUDIO SOBRE LA VISIÓN

PRELIMINARES

La visión y la función sensorial en general.

Los principios nuevos que propongo para toda función sensorial y, por lo tanto, para la de la visión, son los siguientes:

1.º IMPRESIÓN SENSORIAL:

a) La impresión de los agentes exteriores sobre los órganos de nuestros sentidos es **rítmica**; no varía sólo con el excitante exterior, como se viene admitiendo.

Por existir ese ritmo, es por lo que en el órgano de la visión el disco de Helmholtz de sectores blancos y negros al girar aparece con el tono gris más claro á una determinada velocidad: precisamente la en que la interrupción de blancos y negros concuerda con la frecuencia normal de la impresión.

En el órgano del gusto coincide con el llenado y vaciado de las *odres* de las yemas gustativas con el líquido á saborear.

Las fluctuaciones sensoriales, cuando su débil intensidad traspasa apenas el umbral, centelleo de impresión (disminución y aumento eléctricos) de un estímulo *constante*, observado al mirar una luz lejana ó al oír un sonido, ambos de poca intensidad, se atribuyó en un principio á oscilaciones de la atención y, después, á las de la acomodación; destruidas las dos hipótesis por Ferrec, supone Pieron que esas alternancias son debidas á la acción discontinua del excitante por un fenómeno de protección, como podría ser en la retina un movimiento de avance y retroceso incesante del pigmento corneal.

Todo ello queda explicado con la ondulación rítmica de la impresión que proponemos y ya veremos después como se produce.

Zoerlidi, en sus investigaciones sobre las reacciones eléctricas del ojo del palpo bajo la influencia de la luz, obtuvo para una iluminación *constante* una reacción *oscilante*.

Esto en cuanto al ritmo elemental de la impresión que, además, así como en la voz sobre el ritmo fisiológico se sobreponen los que traducen el estado emotivo ó establecen relaciones entre unas frases y otras al situar éstas en distintos planos, admitimos también en la impresión sensorial ritmos de diversos grados en correspondencia con cualidades del excitante ó con relaciones de diversa índole entre las mismas.

Llama Cajal *unidad de impresión* ú onda simple, á la producida por cada valor del estímulo en cuanto se mantiene constante cualitativa y cuantitativamente; nosotros llamamos unidad de impresión á la producida por cada fase de uno de nuestros ritmos, ya sea el simple, elemental ó uno de los que lo modulan á más grandes tiradas, comprendiendo varias ondas de aquél, como pasa con la reunión de varios sonidos simples; habría, pues, unidades de impresión de diversas categorías, según de qué clase de impresión se tratase, dentro del mismo órgano sensorial.

Ese ritmo de impresión que proponemos no tiene relación con el de la vibración de la corriente nerviosa que admiten para sus teorías de la visión Cajal, Gómez Ocaña (en su bosquejo de 1898), Charpentier y otros, pues para llegar á constituir sensación necesitan de varios períodos y para nosotros cada período es una sensación completa, una unidad de sensación.

b) Cada uno de esos períodos tiene por duración la de la persistencia de la sensación (que es distinta para cada sentido y en cada uno de ellos, según diversas circunstancias; á mayor intensidad la persistencia es más corta) y no la de la vibración del excitante en sí, como la del sonido ó la rapidísima del éter en la luz.

c) En cada uno de esos períodos ó fases se recogen *sucesivamente*, y no simultáneamente, como se sostiene por todos, las intensidades de las distintas cualidades fundamentales en que se descompone la compleja de uno de esos agentes; por ejemplo, para la luz, las intensidades de los colores rojo, verde y violeta en que se puede descomponer cualquier color compuesto, como en la impresión de la película cinematográfica en color de Smit.

La prueba de esto es el orden constante en que aparecen cuando se recogen aisladas ó cuando se hace actuar una causa de cualidad compleja en menor tiempo del período normal de la impresión sensorial. Del rojo al violeta en la visión, del amargo al dulce, pasando por el salado y el ácido en el gusto; del olor empireumático al ambrosiaco, pasando por los otros tres fundamentales en el olfato (autoobservación de Rollet en la convalecencia de una anosmia tóxica), del timbre armónico simple á otros más elevados en el oído. Por semejanza física fundada en el número de vibraciones se suelen comparar los colores á las notas musicales, haciendo resaltar, sin embargo, que el oído tiene más amplitud de percepción que la vista, puesto que ésta recoge sólo una octava (400 y 800 billones de vibraciones) y aquél nueve octavas (33 y 8.192 vibraciones). Hay que buscar más la semejanza fisiológica que la física, puesto que no se recogen directamente las vibraciones ni en la luz ni en el sonido, sino que se aprovechan los efectos físicos producidos por la distinta frecuencia de aquéllas como la refrangibilidad en la visión y las interferencias (Ewald) en el oído. Creo más lógica la comparación de notas musicales con los puntos distintos del espacio visual (puesto que en la región acústica cortical cerebral los sonidos de distinto tono se recogen por células distintas, los graves en la parte posterior, y los agudos en la anterior, según comprobación de Munch y de Larionon, distribuyéndose topográficamente) (1) y, con la escuela alemana, la semejanza del timbre (caracterizado por la relación con los armónicos que acompañan á la nota fundamental) con los colores. Comparando el sonido al color, no se encuentra en las percepciones luminosas cualidad análoga al timbre, y, sin embargo, así como en el color que tienen y emiten los cuerpos va envuelta su característica ó personalidad, en el *timbre* del sonido que emiten pasa lo mismo. Este modo de descomponer el timbre viene apoyado por el experimento de Marage sobre educación del oído de los sordos, empezando por sondeos simples ó fundamentales, cuyo timbre va complicando luego del mismo modo que para enseñar á leer se empieza por el alfabeto.

d) La acción del agente físico exterior sobre la primera neurona ó célula sensorial se limita, en mi opinión, á variar la resistencia eléctrica del circuito local de que aquélla forma parte; es lo menos que cabe encargarle; nada de transformación directa de la energía externa actuante ni de inflamación de explosivos difícil de regular.

El micrófono utiliza ese sabio principio: la energía mecánica de las ondas sonoras no se transforma directamente en energía electromagnética como en el primer teléfono que transmitió la voz; no hace más que variar la resistencia de un circuito por el que circula una corriente preestablecida, permanente. Generalmente, como es sabido, lo que hace variar es la presión de contacto de unas barritas ó polvo de carbón. A pequeñas variaciones de intensidad de la energía incidente se producen grandes variaciones en la resistencia del circuito y, por tanto, en la intensidad de la corriente eléctrica de generador independiente, cuya ondulación, ampliada, reproduce la del aire puesto en vibración. Así, por débil que sea la energía de las ondas sonoras y su variación de intensidad, es muy grande la de la corriente eléctrica que hace vibrar la placa del teléfono receptor. La energía exterior actúa sólo como energía directriz.

La Naturaleza, á mi entender, aplica ese mismo principio en todos los órganos de nuestros sentidos. Por los aparatos sensoriales periféricos circula una corriente eléctrica fisiológica permanente; la resistencia de ese circuito varía con la intensidad de la energía exterior que recibe; cuando no actúa ninguna, la resistencia es tan grande que impide el paso de la corriente.

Y esa corriente eléctrica, de intensidad ondulante, al circular por la primera neurona produce en ella correlativamente la corriente nerviosa variable.

Es sabido que el excitante más adecuado, más asimilable, que soporta mejor un nervio, es la corriente eléctrica ondulatoria aplicada directamente á aquél, más que la acción química, mecánica ó térmica sobre el mismo. Responde inmediatamente á la excitación, produciendo una corriente nerviosa proporcional.

Fuera de nosotros tenemos la energía física actuante, en el extremo de la primera neurona una corriente eléctrica que es moldeada por aquélla; en el resto de la neurona, para transmitir á la siguiente, una corriente nerviosa de intensidad proporcional en cada instante. Entre la energía física del mundo exterior y la energía nerviosa del interior hay la energía eléctrica que con ambos se entiende. En ella se realiza la fusión somato-cósmica; y esto pasa

(1) Y á su vez los puntos distintos del espacio visual, con notas distintas, como en su lugar diremos al tratar de las células amacrinas.

lo mismo en las células visuales retinianas que en las ciliadas de Corti del oído, que en las de presión, tacto y temperatura de la piel, que en las fibrillas intragemales y perigemales del órgano del gusto.

Los corpúsculos de Krause y de Pacini del tacto copian al micrófono; los bastones y conos de la retina al fotófono.

Hoy día se admite una ampliación intensiva de la impresión sensorial, encargando de ella á las células de axon corto cerebrales (que asemeja Cajal á acumuladores ó condensadores eléctricos) y á las primeras neuronas sensoriales (que suponen á modo de acumuladores de energía química que se desprende en grandes proporciones ante la pequeña excitación del agente físico exterior, relación de ampliación que parece difícil regular).

Esto último se consigue con más precisión con la acción que he propuesto análoga á la del micrófono.

e) Esa corriente eléctrica (alterna) que atraviesa constantemente la primera neurona es de origen fisiológico, independiente del agente físico exterior; su alternancia es lo que produce el ritmo de impresión.

La existencia de una corriente *eléctrica*, aparte de la nerviosa, está comprobada en los elementos epiteliales de los órganos de los sentidos del tacto, del gusto, el de la visión en especial, y se han recogido datos parciales en el del oído, por ser más difícil la experimentación.

El que la corriente sea alterna lo demuestra que cuando se hace atravesar un órgano sensorial por una corriente eléctrica, en un sentido se produce la sensación de determinadas cualidades, y en el contrario, de las opuestas ó complementarias.

La alternancia produce la ventaja de que las neuronas cerebrales que recogen la impresión cualitativa no se fatigan tan pronto; cuando, como caso excepcional, se someten á una misma clase de impresión durante corto tiempo, por ejemplo, la visión sostenida del mismo color, se fatigan pronto.

Esto, aparte de que las corrientes análogas en sentido contrario, procedentes de los centros motores, son alternas también.

2.º CONDUCCIÓN DE LA IMPRESIÓN AL CEREBRO:

Como la Naturaleza tiene por norma conducir al cerebro por el menor número de fibras nerviosas el mayor número de impresiones recogidas por las células sensoriales de cada órgano externo del sentido correspondiente para simplificar en lo posible el nervio conductor, *hay*, en mi opinión, en los órganos externos, dotados de muchas fibrillas nerviosas impresionables, células ó neuronas (hoy de oficio desconocido) encargadas de etiquetar las corrientes individuales antes de juntarlas en el cauce común por donde tengan que ir varias, para que al llegar al cerebro se puedan volver á separar. Esa individualización consiste en interrumpir con frecuencia distinta cada corriente ondulatoria que conduce la impresión, rizándola como los sonidos armónicos en la onda sonora.

La prueba de que existe esa función á cargo de determinadas células es que si se hace atravesar el órgano sensorial por una corriente *constante* para que excite el nervio que va al cerebro, se siente la sensación propia de dicho órgano *constantemente* en contra de lo que la experiencia enseña sobre excitación eléctrica de los nervios que sólo se produce *al variar* la intensidad de la corriente; hay algo, pues, que la hace variar, que la convierte de continua en intermitente como pasa en los timbres, carretes Rumkorf, etc.

3.º LLEGADA AL CEREBRO:

a) Al entrar en el cerebro la corriente sensorial, en los ganglios talámicos y después en la corteza, se verifica la separación de corrientes de cualidades distintas y de individualidad distinta que viajaron juntas por la misma fibra nerviosa.

La subdivisión de cada corriente entre varias, en el cerebro es *un hecho* al que hasta ahora no se le ha dado más interpretación que la de servir para la conducción en avalancha, fin muy esencial, pero no único.

4.º PERCEPCIÓN:

a) Distribuidas las corrientes sensoriales sobre las res-

pectivas células piramidales ó psíquicas de la región correspondiente de la corteza cerebral, producen en éstas diversas modificaciones, y al atravesarlas de arriba abajo su corriente local axial da la percepción apropiada con la cualidad compleja é intensidad que tuvo el agente exterior que causó la impresión primera en el órgano externo del sentido; luego sigue la corriente al centro conmemorativo para registrarla.

b) Las cualidades elementales varían una después de otra y se compone su sensación sin cesar con las dos restantes fijas.

c) Dentro de la percepción hay que distinguir (extendiendo la opinión de Cajal sobre los grupos isodinámicos al grupo de una bipolar) la percepción propia y la repercusión ó inducción de todas las demás simultáneas, recogidas en cada instante por el órgano sensorial, que dan origen á las imágenes de contraste, así como las que se suceden en el tiempo lo dan á las llamadas imágenes consecutivas. Esto aparte de otras percepciones de relación entre los elementos de distintas asociaciones (que dan lugar en la visión á las formas y relieve) y de unas asociaciones con otras; percepciones de conjunto que no hay que dejar á la memoria por averiguar, pues ésta sólo registra, y constituye con lo registrado, primera materia para nuevos registros y comparaciones en los centros conmemorativos de órdenes superiores.

Constituye el último grado de perfección del sentido. Sin ella no se percibirían en la visión más que puntos luminosos, manchas de luces y sombras ó incluso de colores sin apreciar la figura de su contorno sino el lugar de la retina que impresionasen, y, por tanto, su proyección en el espacio, ó bien su cambio de lugar ó movimiento; es decir, lo que ven sólo la mayor parte de los animales, excepto las aves y mamíferos superiores: fotorrecepciones y motorrecepciones, pero no la iconorrecepción. Para la percepción de las imágenes (formas ó figuras "del todo y de cada una de sus partes,") se requiere la percepción de enlace ó de relación de unas percepciones puntuales con otras, y asimismo para apreciar la deformación ó el movimiento con precisión se necesita la percepción de enlace entre dos instantes sucesivos de tales formas ó figuras.

En el oído no se apreciarían las relaciones de unos sonidos con otros ni la armonía, ni la melodía, sino el conjunto de ellos, manchas sonoras sin contornos ni detalles (quietas ó en movimiento).

Funciones visuales.

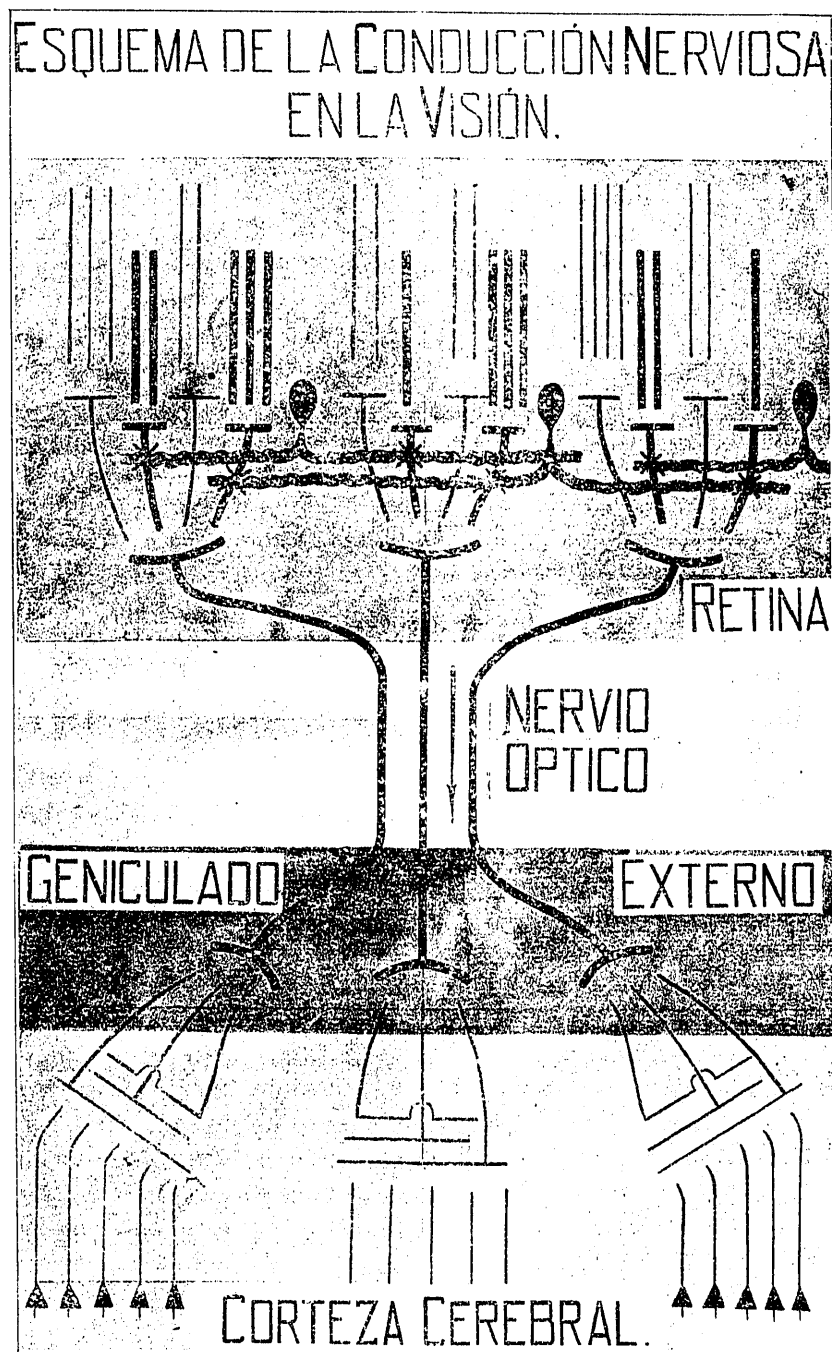
Las funciones de la visión son muy complejas; punto capital es el dejar bien establecido cómo se origina la corriente nerviosa en la primera célula retiniana y modula su intensidad y cualidad con las de la luz que recibe; pero aun así todo eso no es más, como diría un Ingeniero al levantar un plano topográfico, que *llevarse el terreno á casa* con los datos numéricos apuntados en una libreta; después, para darse cuenta de la forma del terreno, hay que dibujar las curvas de nivel, acotarlas y compararlas. Todo esto lo tiene que realizar el cerebro al percibir el cuadro pintado en la retina pues vemos á la vez *formas y colores*, no sólo con líneas de contorno que cierran figuras, sino con superficies curvas, con planos de distintas direcciones que con su combinación representan objetos, y éstos separados unos de otros, al mágico conjuro del relieve.

De pronto, parece lo más natural que si las figuras se pintan en la retina y por conductores nerviosos se trasladan la impresión de la imagen punto por punto al cerebro, en éste se vean aquéllas; pero á poco que se piense comprenderemos que esto no sería más que hacer del cerebro un segundo clisé, retrasar la dificultad; para esto, tanto valdría que la retina formase parte del cerebro y en ella se *percibie-*

se, desde luego, la sensación referida. No; la corriente nerviosa, al atravesar ganglios, al seguir unas vías ú otras, al formar combinaciones é inducir otras no es por mero capricho; es el Ingeniero que dibuja en casa el terreno por curvas á nivel que aquí son dedadas de luz, acusa declives de color, aplica plantillas de objetos análogos ya vistos y refuerza con la atención líneas y relaciones.

también esas deformaciones de líneas y figuras producidas por otras con ellas combinadas, que se llaman ilusiones ó errores ópticos.

Y cuanto decimos del espacio se aplica al tiempo; se percibe la relación entre impresiones sucesivas, además de la de los instantes aislados; apreciamos, como si dijéramos, la figura dinámica, la *forma* á lo largo del tiempo, el movimiento

Fig. 1.^a

Para ver los altos y bajos de la intensidad luminosa y de la gradación de color, ó sea la *forma* ó *figura*, no es suficiente el percibir la sensación aislada de los distintos puntos, es preciso *comparar* unas con otras; pues no basta con que anotemos, durante la educación de ese sentido, la impresión simultánea recibida por el tacto al palpar el objeto que produce en la visual el contorno que examinemos, sino que en el sentido de la visión hemos de percibir las relaciones de posición de unos puntos con otros antes de sellarlas juntas con las relaciones que el tacto da.

El objeto de la sensación estriba más en esa relatividad de impresiones puntuales, que en su valor absoluto. Por eso existen las imágenes de contraste en los colores, por eso

y la deformación. Por eso existen las imágenes consecutivas, fenómeno independiente de la persistencia de la visión.

Para establecer esas comparaciones entre unas y otras corrientes ha de haber células transversales que pongan en relación á unas células perceptivas con otras.

Tales células transversales y su función comparativa ó de relación tienen la primacía en el órgano de la audición.

Al hablar de la percepción de la forma ó figura nos hemos referido principalmente á la de *dos* dimensiones, pero se aumenta aún más la facultad visual añadiendo la *tercera* que, desde luego, se consigue con un solo ojo para la captación del *relieve interpretado*, recogiendo la impresión de secciones del objeto por planos paralelos al iris con sólo

variar la acomodación del cristalino, con lo cual se varía el plano focal, representado en la imagen retiniana por el conjunto de puntos que aparecen más bien definidos ó sin difusión; representación del objeto por curvas de nivel recogidas sucesivamente. Pronto esta sensación se enlaza con la de distintas gradaciones de luz, que es otra clase de visión por *dirección* de los planos ó superficies que limitan dicho objeto, á lo cual ayudan también las deformaciones producidas por la perspectiva y las sombras arrojadas. Y del grado de acomodación del cristalino se tiene sensación. Es la visión que pudiéramos llamar taquimétrica; desde un mismo punto se recogen las distancias.

Pero la visión propia del relieve, no por interpretación, sino en sí misma, se realiza con la visión simultánea de los dos ojos al caer sobre células perceptivas próximas dos corrientes iguales correspondientes á la impresión del mismo punto del objeto, dos círculos de difusión que según sean secantes por el lado interior ó exterior dan la impresión de puntos más lejanos ó más próximos que los que hayamos enfocado (imágenes puntuales, precisas, sin círculo de difusión) (1). Es la visión que pudiéramos llamar estéreo-fotogramétrica, que se recoge desde dos puntos distintos

Forma, movimiento y color son las *cualidades* perceptibles por la visión.

Magnitudes, distancias é intensidad luminosa son las *cantidades* que recoge.

La explicación de todas esas percepciones es difícil y compleja; su estudio no está acabado, y solamente para dar cuenta de lo que se ha comprobado y supuesto se necesitaría dedicar un extenso tratado.

Aun limitándome á la percepción de la luz en sus dos factores, cualidad y cantidad: *color é intensidad*, que constituyen la base esencial de las demás percepciones citadas, la característica del órgano de la visión, haré caso omiso de la actuación de los reflejos en la que Louis Dor sintetiza la explicación de la visión, siendo estos reflejos los óculo-oculares, los alio-sensitivo oculares y los óculo-alio-motores, que producen el complejo de sensaciones musculares que conocemos por sensación de la visión.

Por los reflejos alio-sensitivo-oculares ejerce su influencia el resto del cuerpo sobre el ojo; como la luz que cae sobre la piel de la rana contrae las células visuales de la retina y las pasiones contraen ó dilatan la pupila; y por los óculo-alio-motores influye la excitación retiniana sobre el resto del organismo, como demuestra el distinto poder dinamogénico de los colores, haciendo afluir la sangre á las extremidades y aun el mimetismo de Loeb ó coloración de la piel de ciertos animales en relación con los colores vistos.

La visión influye sobre todo y todo influye sobre la visión, por comunicación de la región cerebral visual con las demás, figurando entre las más importantes que contribuyen á dicho acto las de la memoria.

No todo lo que *se ve* en cada instante procede de la retina. Ella nos da la imagen á modo de mosaico en el que faltan muchas piezas, bien porque se ocultan unos objetos por otros en la perspectiva ó por debilidad de iluminación, colores que no se perciben pero se recuerdan, mil figuras parciales aprendidas durante nuestra vida á fuerza de verlas y palparlas, y otras sensaciones que se anastomosaron con las visuales como las de dureza, pulimento, etc. El cerebro

rellena todas esas soluciones de continuidad y da cuerpo á las imágenes armándolas con las impresiones que dan los demás sentidos y tiñéndolas con la nota de agradable ó desagradable que llevan sellada en la memoria. Lo que vemos, pues, es sobre *motivos* del presente que nos da la retina, pero *es todo nuestro pasado el que se asoma á nuestros ojos*, cuanto desde la niñez registró nuestra memoria como impresiones elementales, y que luego fueron complicándose para constituir impresiones más complejas.

Descrito á grandes rasgos el amplio campo de la visión, podemos señalar mejor los límites de nuestro tema, que se reduce á explicar la serie de funciones que realizan sucesivamente las neuronas de la cadena retino-córticocerebral, desde la excitación de la luz hasta la producción de la causa inmediata de la percepción, ó sea desde la frontera de nuestro cuerpo al umbral de la conciencia.

Para expresarnos en la forma más apropiada, y siguiendo en esto el ejemplo de los fisiólogos, al hablar de funciones nerviosas lo haremos en el idioma de la electricidad, con la cual guarda concomitancias la energía néurica, sin que sea igual ni se sepa aún en qué consiste. Así trataremos de corrientes alternas, de sus armónicos, de reóstatos, vibradores, montaje en batería, amperímetros y voltímetros, condensadores, autoinducción y capacidad, potencial, electrólisis, telefonía múltiple por un solo hilo, reguladores, interruptores, inducción, aparatos protectores contra las grandes descargas por exceso de potencial ó por caída brusca de resistencia...

RETINA

SU DESCRIPCIÓN

El órgano de la visión está constituido por dos ramas del nervio óptico terminadas en dos bolas, los globos oculares, en cada uno de los cuales se esparraman aquéllas, deshinchándose; 23 milímetros de diámetro cada uno.

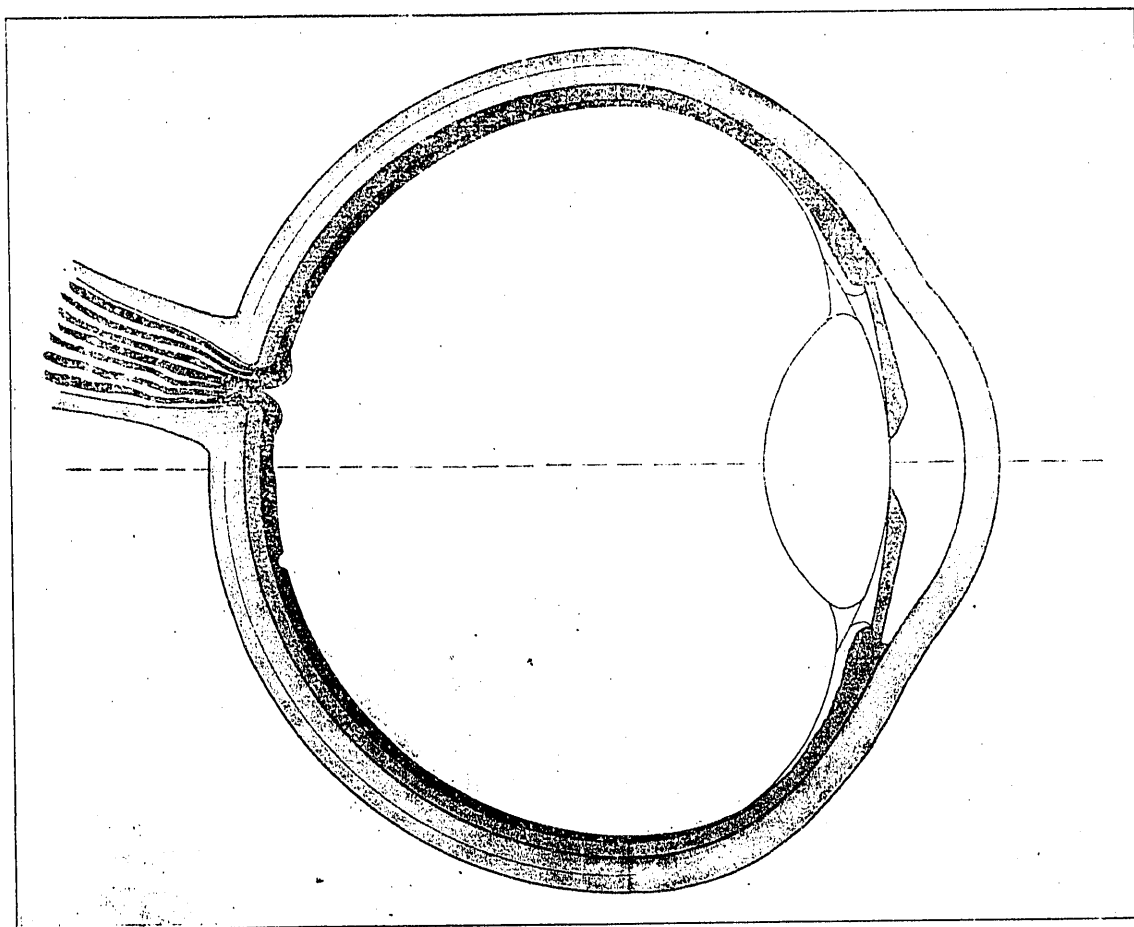
En la figura 2.^a se ven las tres capas ó membranas del ojo humano: la resistente, *córnea transparente y esclerótica opaca*; la vascular y pigmentaria, *coroides* que por delante constituye el iris con su agujero contráctil, la pupila, y la fotosensible ó nerviosa, la *retina* tras de cuyo borde asoman los tensores del saco cuticular que comprime en su interior el cristalino ó *lente* que toma así forma más ó menos abombada para corregir la refracción que en su mayor parte pertenece á la córnea inmóvil. Delante del cristalino el humor acuoso, detrás el humor vítreo, todos refringentes. De todo el ojo, fijémonos en la retina. Un tercio de milímetro de espesor en el fondo y se adelgaza hacia los bordes. Casi en el eje del ojo tiene un hoyo ó foseta de dos décimas de milímetro de diámetro, en cuyo espacio pequeñísimo se realiza la visión distinta, en su máximo grado de agudeza visual y cromática. El ojo se mueve constantemente para hacer caer la imagen del objeto que queremos ver, sobre dicha foseta central. En el resto de la retina la visión es más confusa, tanto más cuanto más nos alejamos del centro. Sirve para la visión aproximada; el campo visual no se termina bruscamente en una línea, sino esfumándose paulatinamente.

En la figura 3.^a mostramos la estructura de la retina dentro de su espesor de $\frac{1}{3}$ de milímetro.

Está encerrada entre las dos finísimas membranas limitantes; la interna la separa del humor vítreo; la externa deja fuera la parte fotosensible de las células visuales.

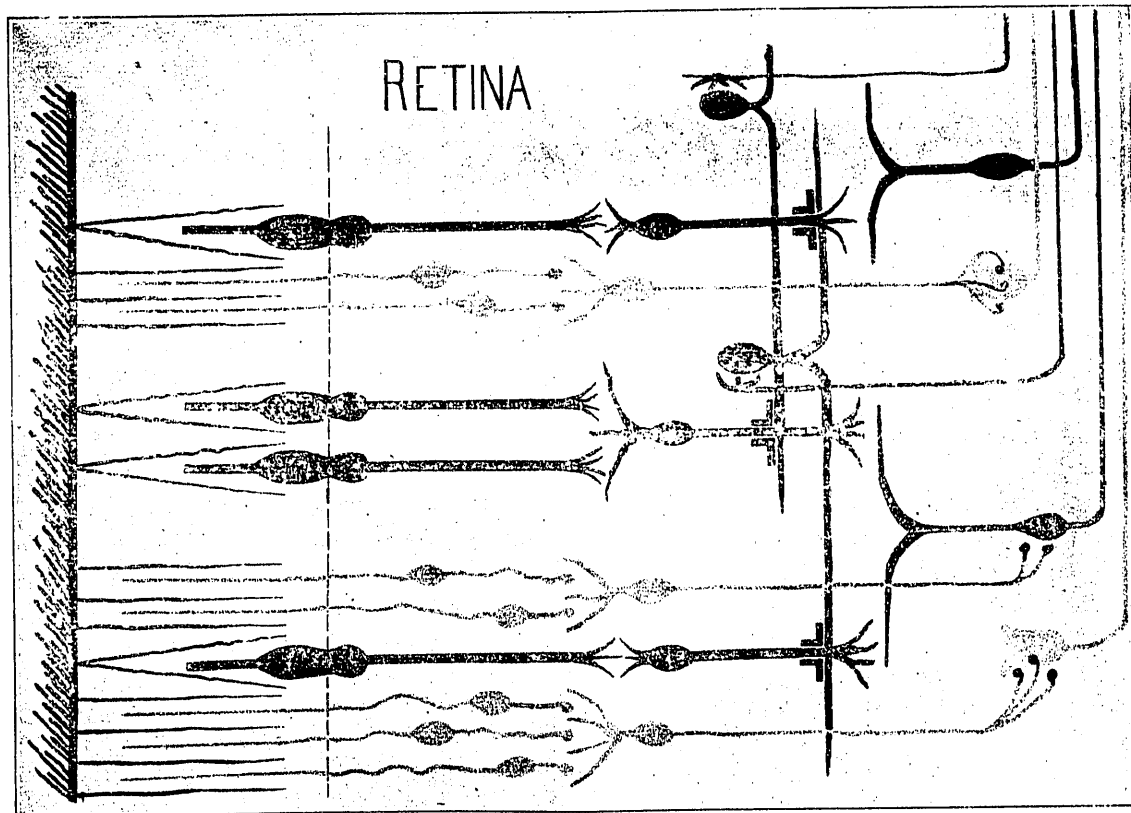
Los rayos de luz la atraviesan, pues todos sus elementos son transparentes y después de atravesarla inciden sobre las

(1) Esta sensación se adquiere durante la educación del órgano con acomodaciones distintas, que son las que dan la sensación de la distancia.

Fig. 2.^a

varillas fotosensibles (parte de las células visuales que emergen por una serie de agujeros de la membrana limitante exter-

neurona contigua ó célula bipolar; de ésta á la célula ganglionar, cuyo cilindro-eje es una de las fibras del nervio óp-

Fig. 3.^a

na). En estas varillas es donde únicamente se recogen las impresiones luminosas para la visión.

Desde que dicha impresión se ha transformado, en las células visuales, en corriente nerviosa, ésta se transmite á la

tico que á su vez entrega su corriente á una serie sucesiva de neuronas escalonadas del cerebro hasta llegar á las que están encargadas de la percepción.

Es de notar que en el ojo humano (análogo en su estruc-

tura al de todos los vertebrados) los elementos fotosensibles no están de cara á la luz, sino que ésta tiene que atravesar todas las neuronas de la retina antes de llegar á ella; la luz y la corriente nerviosa originada por su impresión van en sentido contrario. Con esto, no sólo se preparan previamente las neuronas (pues algo sensibles son á la luminosidad) para poder recibir mejor la corriente nerviosa que se les va á entregar, sino que quizá la iluminación de los espacios interneuronales facilita la descarga iónica entre las raicillas cilindro axiles de una neurona y el ramaje dendrítico de la siguiente.

Otras células esenciales hay en la retina, en sentido transversal á la corriente: las células llamadas horizontales que ponen en comunicación distintas células visuales y las amacrinas ó espongioblastos que enlazan células bipolares.

Añádanse á esto algunas fibras nerviosas que, teniendo

En el resto de la mancha amarilla (elipse de 1×2 milímetros, en cuyo centro está la foseta) sigue habiendo sólo conos, pero en su frontera cada cono está rodeado de una línea ó anillo de bastones, y á medida que nos vamos separando, es mayor el número de anillos de bastones que rodean á cada cono, descendiendo grandemente la proporción de éstos y aumentando en cambio el de aquéllos, hasta llegar á los bordes de la retina en que hay sólo bastones. Es como si la retina estuviese dividida por radios y circunferencias concéntricas en que éstas se fuesen separando en la misma proporción que los radios y en el centro de cada trapacio curvilíneo hubiese un cono que recogiese la nota de color de la cuadrícula y el resto de ella fuesen bastones.

Cada bipolar recoge la corriente de varios conos y cada ganglionar la de varias bipolares (1).

El plan adoptado por la Naturaleza, como se ve, es ir con-

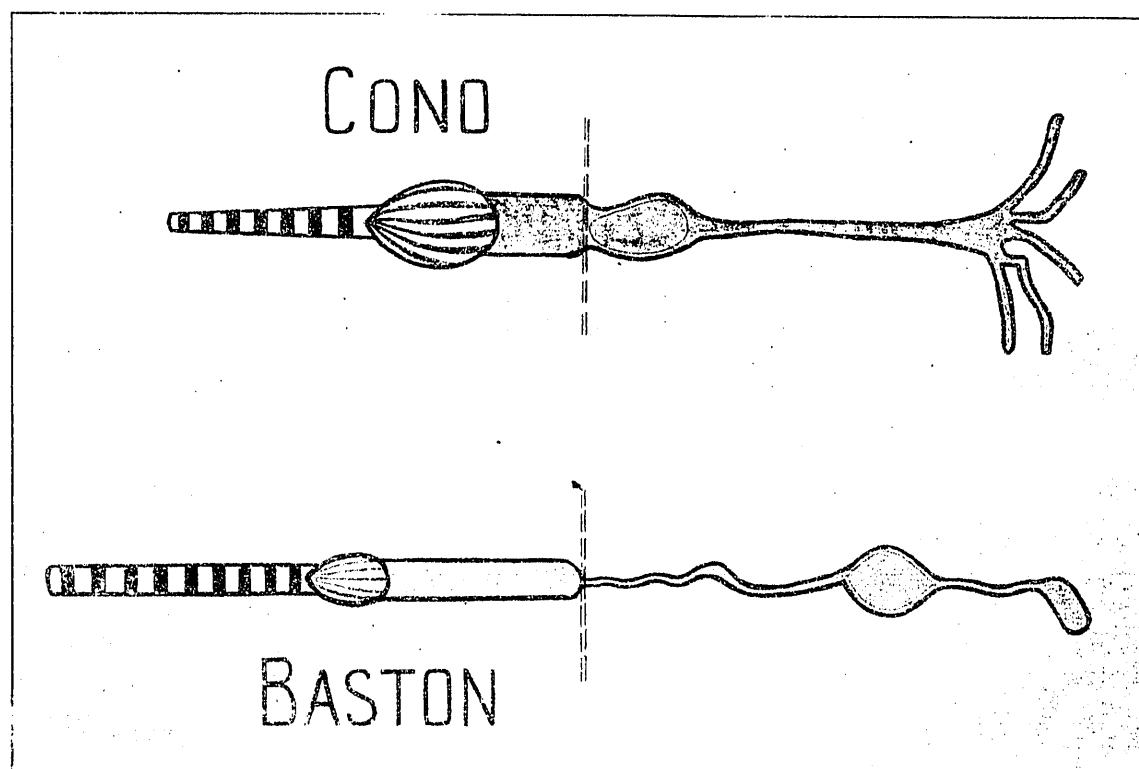


Fig. 4.^a

su soma ó cuerpo en el cerebro, aportan su corriente á la retina para traer órdenes de aquél, y se llaman fibras centrí-fugas.

Empecemos por los elementos fotosensibles.

Son de dos clases, llamados bastones y conos, por la forma que tienen.

Los primeros son aptos para recoger los distintos grados de luminosidad de la fotografía ordinaria, blancos, grises y negros; y los conos los colores. Unos y otros aprecian el grado de intensidad de la luz, sin analizarla los bastones y recogiendo la de cada color los conos. Cuando los colores se mezclan en proporciones determinadas, dan también el blanco.

En la foseta central hay sólo conos; son los aparatos más precisos para apreciar la cualidad y la cantidad de la luz; por eso la agudeza visual en ambos conceptos es máxima en esa zona. Dicha agudeza se extiende también á la mejor apreciación de los detalles de la imagen, debido á que los conos son más delgados, hay muchos más por unidad de superficie y se retiran á un lado todas las capas anteriores de la retina para dejar pasar á la luz directamente del humor vítreo á los conos.

centrando las corrientes, para que por el menor número de fibras del nervio óptico se recoja el máximo de impresiones puntuales de la imagen. Sistema de concentración ó reducción, que se proponen conseguir para el cable de conducción los inventores de telefotos ó aparatos de transmisión de imágenes por la electricidad.

Células visuales, células bipolares, células ganglionares son unidades nerviosas independientes, *neuronas*.

La individualidad de las neuronas permite explicar, cómo unas células recogen la impresión luminosa, otras montan éstas en batería más ó menos amplia, según la intensidad de la luz, otras sellan esas corrientes antes de juntarlas en una sola.

(1) Cada célula ganglionar recoge la corriente de 130 bastones y conos en el hombre y en animales acuáticos hasta 7.200.

La superficie retiniana cuya impresión recoge una ganglionar es de $20 \mu^2$ en la fovea ó foseta central (μ es una milésima de milímetro) y de $1.320 \mu^2$ en la periferia del hombre; $9.710 \mu^2$ en la periferia del *Macrorhinus*, y $76.920 \mu^2$ en la del *Balaenoptera phisalus*, dada la luz débil que deben acumular.

En todos ellos esa superficie colectora ganglionar es variable, según la intensidad de la luz; á veces se tienen que reunir todos los conos de la foseta para dar una sola impresión.

cauce común para que puedan ser separadas al llegar al cerebro, otras sensibilizan su acción en la región que la atención quiera, otras piden al cerebro que el aparato dióptrico enfoque mejor ó que cierre el diafragma si se abrasan de luz y que baje el pigmento negro á servirles de estuche, otras sintetizan sensaciones por radios y aprecian su inclinación ó mueven el globo del ojo para presentar la foseta central á la parte de imagen que se quiera ver mejor, ó convergen ambos ojos para fundir las dos imágenes y apreciar la distancia y los relieves.

Son tan pequeñísimas estas células, que los bastones y conos no tienen más longitud que el canto de una hoja de papel de barba, y véase aún dentro todo lo que hay y lo que queda por ver. Para situarse dentro de la escala de dimensiones de muchas neuronas, baste citar esta frase de Cajal, de uno de sus libros, persiguiendo el final de una ramilla:

Esa varilla, que no tiene sustancia nerviosa y es á modo de una excrescencia de sustancias especiales, es la parte fotosensible de la célula visual, *un aparato físico*.

¿Cómo se pinta sobre ella la imagen de un punto del objeto colocado delante del ojo?

PRIMERA NEURONA

IMAGEN LUMINOSA SOBRE LA MISMA

Aberración de esfericidad. — Un punto luminoso cualquiera, que envía sus rayos sobre una lente convexa, forma al otro lado de ésta, por la refracción de aquéllos, una imagen puntual ó foco. Y cuando los medios refringentes son varios como en el ojo, que aumentan su densidad progresivamente hasta el centro del cristalino para disminuir después hasta la retina, el efecto es el mismo; á un punto del

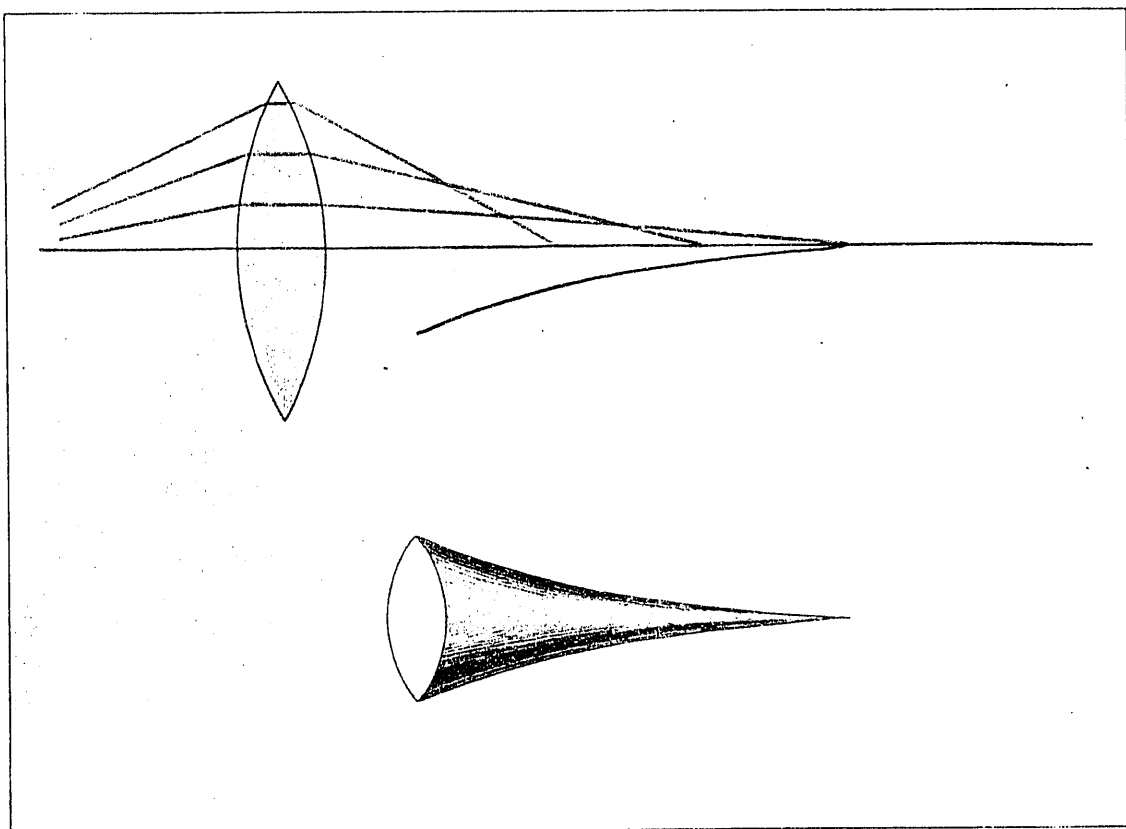


Fig. 5.^a

“El axón se reparte en *larguísimas* ramas horizontales, algunas tan prolongadas, que pueden seguirse..... ¡dos y más decenas de milímetros!...”

En las células visuales, sean bastones ó conos, la expansión dendrítica tiene una sola fibra y la estructura de su parte terminal es especial para recoger la impresión de la luz. Se compone de una varilla, un elipsoide fibroso y un pedúnculo. La varilla está formada de discos superpuestos refringentes, alternados de dos sustancias distintas, y en todos los de una de ellas varía ésta en los bordes; el pedúnculo tiene sustancia muscular.

Los conos (ó analizadores de colores) tienen el segmento interno ó tronco más grueso que el externo ó varilla y el elipsoide ancho, resultando la forma de una botella. El segmento externo suele ser más corto que en los bastones, excepto en la foseta.

En cambio los bastones (que recogen sólo intensidad luminosa sea cualquiera el color) son altos y delgados, todos ellos del mismo diámetro y sobresaliendo muy poco de éste el elipsoide.

objeto corresponde un punto para su foco ó imagen. Y así se pinta sobre la retina la imagen reducida invertida del panorama que se halla ante el ojo, como en el vidrio deslustrado ó en el clisé de una cámara fotográfica.

Estudiando el problema más de cerca se ha visto que la imagen de un punto no era un punto, sino una superficie de revolución engendrada por la curva llamada *cáustica* girando alrededor del eje, debido á que los rayos luminosos que caen sobre los bordes, y, por tanto, más oblicuamente, se refractan más, se cortan antes ó producen el foco más cerca que los que caen sobre la parte central. Así, en lugar de un foco se forman varios uno tras otro á lo largo del eje; sus intersecciones producen una curva, *la cáustica*, y dentro de ella un campo luminoso. Si queremos recoger esa imagen sobre una pantalla ó clisé, ó da un punto de intensidad debilísima en su extremo ó da un círculo de difusión en las posiciones anteriores. Este fenómeno de la *aberración de esfericidad*, se corrige para la fotografía volviendo á aproximar y juntar todos esos focos parciales en uno solo mediante el acoplamiento de dos lentes: cóncavo-convexa la una y bi-

convexa la otra. Es *un defecto* que la industria corrige. En el ojo se corrige en parte, ya que el radio de curvatura del cristalino es menor en el centro que en los bordes, que el cristalino se compone en realidad de tres lentes, una biconvexa más densa y refringente en el interior, y otras dos cóncavo-convexas que la envuelven, que además la pupila excluye los rayos extremos, etc.; pero, sin embargo, aunque reducida, subsiste la *aberración de esfericidad*, y esto se ha considerado siempre como un defecto que se le ha escapado á la Naturaleza corregir. ¿No es presumible que así como lo corrigió en gran parte, si hubiera convenido lo hubiera corregido totalmente?

Yo opino que no es un defecto sino una perfección; más aún, la base necesaria para el funcionamiento.

Vamos á verlo. Si la imagen focal fuese un punto geométrico, dentro de él debieran estar los elementos especiales fotosensibles; en lugar de tan reducido espacio (ceró teóricamente) la Naturaleza ha hecho uso de la tercera dimensión, colocando normalmente á la capa retiniana un bastón á lo largo del cual se extiende ó estira el foco luminoso, bañándole por completo, y así dispone de espacio para que la luz obre con holgura. Ved como la aberración de esfericidad es aquí una ventaja en lugar de un defecto. Si no existiera debería haberla provocado ó cambiar la estructura de la retina.

La semejanza con la fotografía ha creado prejuicios que se deben desvanecer.

Se ha dicho que si no nos damos cuenta de los círculos de difusión que forma en cada punto de la retina la aberración de esfericidad es porque en su centro es más intensa la luz y responde con mucha mayor excitación la célula que recibe esa mayor intensidad. No hace falta alambicar; responde sólo la célula del centro porque es la única que el cono luminoso baña por todos sus costados.

Esta imagen luminosa se complica con el astigmatismo y con la aberración cromática.

Astigmatismo.—Nos referimos al astigmatismo regular ó normal que, como es sabido, produce el efecto de dar para cada punto dos imágenes focales, que son dos trozos de línea recta perpendiculares, respectivamente, á los meridianos de máxima y mínima curvatura, por no tener la córnea ni el cristalino la misma en todos los meridianos, efecto que es igual al que produce la combinación de dos lentes, una esférica y otra cilíndrica de generatriz paralela al meridiano máximo ó mínimo en cuestión.

Cuando en lugar de un punto se trata de una recta (que es una serie de puntos), las dos imágenes son dos rectas paralelas, una fina y otra gruesa, según que los trocitos de recta-imagen de cada punto estén en la misma dirección de la recta-objeto ó en dirección normal; en este último caso la recta-imagen es una serie de trancitos transversales en que cada uno es la imagen de un punto de la recta-objeto.

El astigmatismo es otro de los supuestos defectos del ojo y, sin embargo, tiene su utilidad; sirve para intensificar la imagen en las débiles iluminaciones en la juventud y para contrarrestar la debilidad orgánica en la vejez. No hay duda de que se ve mejor un punto si su imagen coge á tres ó más células visuales que á una sola, siempre que no sea á costa de su intensidad, como sucede en este caso. Baste recordar que el cono luminoso focal de un punto interesa sólo á la célula visual que se halla en su centro, pues las demás recogen tan sólo rayos parciales de ese cono, no son bañados periféricamente por él, y el efecto del astigmatismo es formar

con esos rayos inútiles una fila de conos luminosos de ejes paralelos. Esto en cuanto á los puntos aislados, que si se trata de una recta no hay que decir cuánto más intensa será su imagen fina, que es como si tuviera varias superpuestas, ya que superpuestos están los trocitos de recta-imágenes de cada punto de la recta primitiva; y asimismo su imagen rectilínea gruesa, que si no aumenta en intensidad aumenta en dimensiones, y para intensificar la impresión retiniana tanto monta aumentar la intensidad luminosa como el tamaño de la imagen.

Refiriendo esta teoría á un amigo mío que sufre astigmatismo, me dijo que, en efecto, había notado que siempre que miraba con varios compañeros de vista normal la aparición de un barco en el horizonte veía él las líneas finas de los mástiles antes que los demás.

Si esta teoría fuese cierta debería el organismo poder modificar á voluntad dicha función para utilizarla cuando le hiciese falta, y así es; con la contracción del cristalino se anula el astigmatismo en tales términos que normalmente no lo perciben muchos jóvenes cuya córnea debe producirlo por la distinta curvatura de sus meridianos; aparece cuando por un movimiento reflejo, ante una iluminación débil, deja el cristalino de inhibir esa función, y cuando por debilidad orgánica producida por la edad deja de tener esa fuerza inhibitoria ó de corrección.

Esto en cuanto al astigmatismo debido á los rayos luminosos que caen casi normalmente sobre la córnea, que para los que inciden muy oblicuamente para pintar las imágenes en la periferia retiniana, es reconocido por todos la ventaja que proporciona de enfocamiento sobre dicha membrana, pues de lo contrario se proyectarían detrás de ella.

Otra ventaja, sin duda, tiene el astigmatismo, y es para apreciar la dirección de las rectas contenidas en un plano vertical, por su mayor ó menor grueso, durante la educación de la vista, ó sea cuando vamos recogiendo las lecciones de la experiencia, pues no basta que por el tacto adquiramos la sensación de la dirección si no tenemos sensación especial que anastomosar á ella, para que al percibir ésta recordemos aquélla.

IMPRESIÓN INCOLORA EN LAS CÉLULAS VISUALES

Teorías emitidas.

Young, Helmholtz, Hering, Kühne, Parinaud, Wries y Charpentier atribuyen la impresión en los bastones á la reacción química, de una sustancia roja que albergan, atacable por la luz: la eritrosina ó púrpura visual. Según sea la intensidad de la luz que reciba se descompone más ó menos, y como toda reacción química en contacto con un nervio es un excitante que provoca en él una corriente nerviosa, de intensidad proporcional á aquélla, lo será aquí á la de la luz.

Lo malo es que, tanto la descomposición química de la eritrosina como la sustitución de la gastada por otra nueva, se realiza muy lentamente; se necesitan varios minutos y las variaciones de la sensación visual ocurren en fracciones de segundo. Y además, los segmentos externos de los conos son también impresionables por la intensidad luminosa del color que sea y no tienen eritrosina.

(Continuará.)