

# NUEVAS ORIENTACIONES PARA LA TEORÍA DE LA VISIÓN

POR

D. MANUEL MALUQUER

INGENIERO DE CAMINOS

Conferencias dadas en el Ateneo de Madrid en los días 24 y 26 de Marzo último.

(CONTINUACIÓN) (1)

En lugar de la acción fotoquímica se basan otros, como *Dubois* y *Weinland*, en la acción fotomecánica. Supone el primero que la luz, al incidir sobre el bastón, lo contrae, y de la intensidad de esa contracción se tiene una sensación como de la de todo músculo del cuerpo; una cosa parecida piensa *Tscherning*. Acepta *Weinland* esta teoría, pero atribuye la contracción del bastón á la explosión, en mayor ó menor grado, de una sustancia depositada en el pigmento de la coroides.

La dificultad con que tropieza la teoría fotomecánica es que esa contracción es una acción refleja, producida por el cerebro *después* que éste recibió la impresión de luz; queda, por tanto, en pie cómo se verificó esta impresión. Esa contracción debe tener más bien por objeto, como dice acertadamente el eminente fisiólogo *Sr. Gómez Ocaña*, acomodar los bastones y conos al mayor ó menor grado de intensidad luminosa, como la membrana del tímpano en el oído atempera su tensión á la altura del sonido y defenderse de las vibraciones que, por muy altas, bajas ó intensas, pudieran dañarle.

En efecto, basta ver que al contraerse el segmento externo de la célula visual baja el elipsoide (que es el que recoge la luz) á una sección del cono luminoso de mayor diámetro, y, por tanto, de menor densidad luminica; como ésta decrece en razón inversa del cuadrado de los radios puede llegar á ser en la rana  $\frac{1}{50}$  de la intensidad primitiva. Yo, además, creo que la contracción de los conos tiene otro objeto: el de servir á la acomodación. La pupila, en la mayor parte de los animales, se contrae por acción refleja (á la intensidad luminosa), y por acción voluntaria (para la acomodación de la distancia); en los anfibios y peces se contrae sólo por lo primero; y como son precisamente los animales en que *se contraen los conos*, en grado máximo *por acción voluntaria* (á más de la refleja), deben sustituir seguramente la segunda función de la pupila, suprimida quizá porque el cristalino en ellos no se deforma sino que se traslada.

Para recoger la intensidad de la luz en los bastones no he encontrado más teorías que esas dos fracasadas y se sigue hablando de la acción fotoquímica de la eritrosina por no tener otra.

Para recoger la intensidad de la luz coloreada (sea cualquiera el color) en el cono, supone *Charpentier* una acción fototérmica, que no precisa, en la coroides; *Lelong* supone

esa acción, producida por un flujo de sangre en los capilares de la coroides, que hinchaban las células de pigmento como un neumático y ejercen presión sobre el extremo del cono, *Troland* admite cinco sustancias específicas distintas, *que se ignoran*, en cada cono, resonadores cromáticos (uno el blanco) que se pondrían en acción por la distinta ionización que produjera cada color; *Castelli* admite también resonadores, tantos como colores, pero vibrando mecánicamente en relación con las longitudes de onda de la luz y siendo estos resonadores los gránulos de pigmento de la coroides; extraño nos parece, si fuese así, que esté encomendada función tan principal á un elemento secundario y movable como es el pigmento, y no á la célula visual, que parece ser el órgano principal para recoger la impresión; y *Cajal* admite una descomposición química, de cierta materia visual incolora, que se ignora.

La acción fototérmica cae por su base al manifestar que á través de los medios atérmicos siguen viéndose los colores.

¿Por qué no seguir buscando la analogía con otros fenómenos físicos que se producen á diario en aparatos conocidos? Vamos á intentarlo.

## Mi propuesta.

Por comparación anatómica podemos vislumbrar qué funciones realizan los distintos elementos de las células visuales; parece natural que los elementos iguales de conos y bastones realicen la misma función, una común á ambos, como la medición de la intensidad ó cantidad de luz, sea cualquiera el color y que los elementos distintos que tenga el cono sobre el bastón ejecuten la función que lo diferencia de éste: el análisis de los colores.

El segmento externo del cono es igual al del bastón que mide sólo intensidad de luz; pues aquél hará lo mismo.

Diferencia entre el cono y el bastón: que el elipsoide tiene mucha más importancia en el cono y pasa desapercibido en el bastón; pues á su cargo estará el análisis del color.

Dijimos que uno de los principios que rigen toda función sensorial era que la impresión de la energía exterior sobre la primera célula nerviosa del órgano externo del sentido correspondiente se producía por simple variación de resistencia del circuito local que formaba dicha célula, lo cual hacía variar, á su vez, la intensidad de una corriente eléctrica

(1) Véase el número 2.128.

fisiológica, que la atravesaba constantemente, á semejanza del micrófono.

En el órgano de la visión la analogía se establece con el fotófono de Graham Bell.

Las variaciones de la intensidad luminosa se traducen en variaciones de resistencia de una célula de selenio al paso de una corriente eléctrica local. El circuito de resistencia cambiante de que antes hablábamos, en lugar del carbón del micrófono, es el selenio, y la energía que incide directamente sobre él es la luminosa en vez de la mecánica de las ondas sonoras.

conductores impares van unidos á un polo de la pila y los pares al otro, cuando se montan en cantidad; y sólo el primero á un polo y el último al otro cuando se montan en tensión.

Ahora bien, véase la estructura *conocida* del segmento externo de un bastón de la retina, ó la igual del segmento externo de un cono retiniano (fig. 4.<sup>a</sup>):

**Una serie de discos, alternados con otros de distinta sustancia que llevan estos últimos en su contorno un reborde de sustancia distinta á los dos anteriores.**

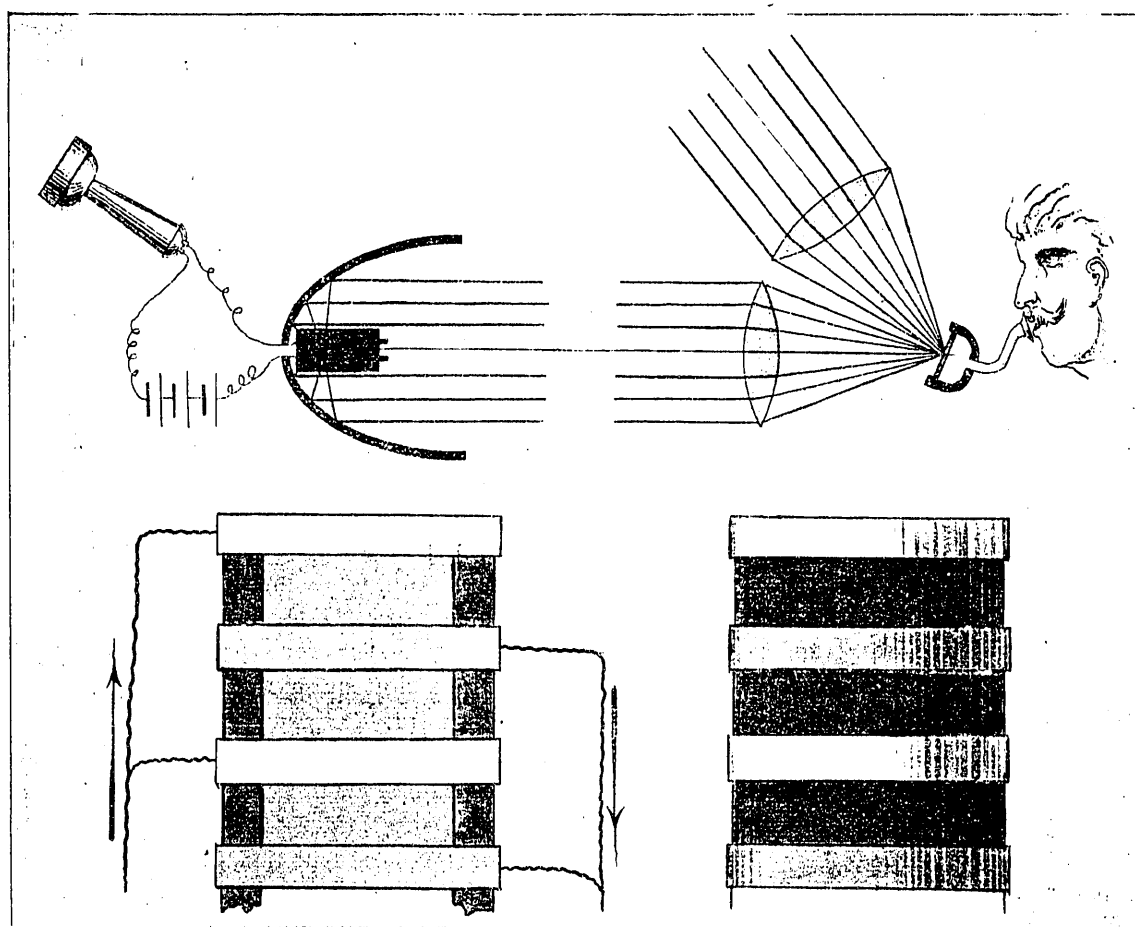


Fig. 6.<sup>a</sup>

Ya recuerda el lector este aparato. La voz hace vibrar una placa de mica, y al encorvarse ésta dispersa más ó menos rayos luminosos que, procedentes de un foco cualquiera, se reflejan en su superficie para caer en un espejo parabólico de la estación receptora. Las ondulaciones sonoras del aire se han transformado en variaciones de intensidad luminosa.

En el foco del espejo parabólico, una célula de selenio, forma parte del circuito de un teléfono en que hay intercalada una pila. El selenio ofrece una gran resistencia al paso de la corriente eléctrica en la oscuridad; y varía en relación con la intensidad de la luz que recibe; á pequeñas variaciones de ésta, grandes variaciones en su conductibilidad, y, por tanto, en la corriente eléctrica que hace vibrar la placa del teléfono; la voz queda reproducida. Fué el primer teléfono sin hilos.

Veamos la estructura de la célula de selenio que se utiliza.

Una serie de discos conductores, alternados con otros aisladores de menor diámetro; en las ranuras circulares que así se forman, va el selenio para que su espesor sea el menor posible y llegue la acción de la luz á todo él. Los discos

Algunas fibrillas exteriores ponen en comunicación á unos discos con otros. ¿No es esta estructura igual á la de la célula de selenio que tiene por misión recoger la intensidad luminosa en el fotófono de Graham Bell?

Haced circular por ese segmento externo una corriente eléctrica fisiológica y podéis tener en el resto de la neurona al pasar aquélla, una corriente nerviosa de intensidad proporcional á la de la luz, ampliada grandemente.

Hemos tomado como ejemplo el fotófono de Bell porque fué el primero que utilizó esa propiedad del selenio, pero todos los telefotos para transmitir imágenes por un alambre y una porción de fotómetros se sirven del selenio, variando más ó menos la disposición de la célula citada.

Sigamos más de cerca las propiedades del selenio, aunque sea adelantando de paso algunas ideas, en lo relativo á los conos retinianos.

— Hay dos clases de selenio fotoeléctrico: el *blando*, de grano grueso, muy sensible á las variaciones de la débil iluminación y poco para la intensa; y el *duro*, de grano fino, al revés.

En la retina está probado que los bastones tienen la propiedad de ser muy sensibles á la luz débil y poco para la fuerte; y los conos para ser impresionados necesitan luz intensa y recogen perfectamente sus variaciones, lo que les da gran agudeza visual.

La correlación es exacta; en los bastones hay selenio blando y en los conos duro.

—La sensibilidad del selenio á las distintas regiones del espectro de un rayo de luz que forma un prisma, es exactamente de la misma clase que la de los bastones y conos; el selenio es sensible á la parte *luminosa* del espectro, no á la *química* ni á la *calorífica*; exactamente como aquéllos.

—Dentro del espectro luminoso el selenio es más sensible á los rayos amarillos y verdosos; los bastones y conos ven más intensos el color amarillo y el verde del espectro.

relación entre las variaciones de intensidad de la sensación y las variaciones de la intensidad luminosa.

Pues bien: las variaciones de impresión en el selenio en relación con las variaciones de la intensidad luminosa, siguen la misma ley fisiológica. *El selenio obedece á la ley psicofísica de Feckner.*

¿No parece que ha llegado la hora de manifestar que no es por mera casualidad que el selenio tenga las propiedades de la retina, sino que es ésta la que, por tener selenio en sus conos y bastones, toma como suyas las propiedades de tal elemento?

Esta teoría no se basa, como se ve, en sustancias desconocidas ni en propiedades ignoradas de sustancias existentes. Es lo mismo que tenemos al alcance de nuestras manos en aparatos de física.

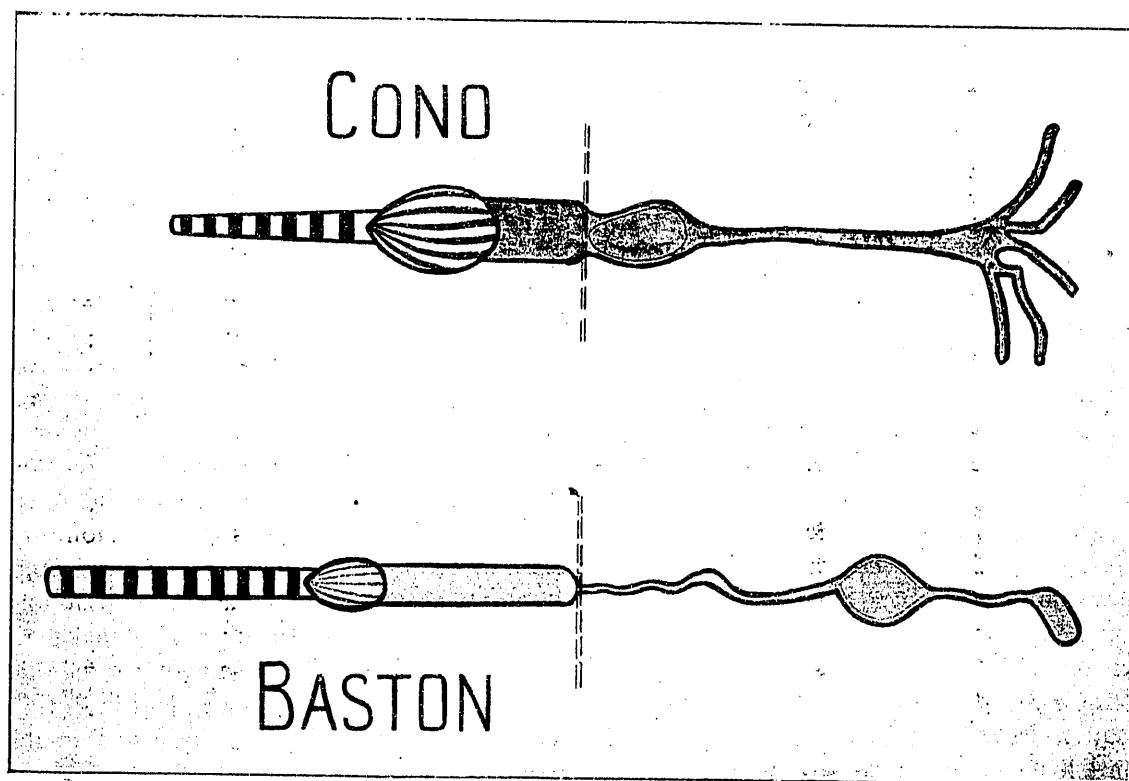


Fig. 4.<sup>a</sup>

—El selenio blando se impresiona rápidamente al recibir la luz y la acción de ésta desaparece lentamente al apagarla. Los bastones, que son los de selenio blando, tienen la misma propiedad, su gran persistencia de impresión.

—La presión en el selenio produce también variación de resistencia. En la retina, la presión produce el fosfeno ó claridades fulgurantes.

—El contacto con el pigmento animal disminuye la resistencia eléctrica del selenio; por eso la eritrosina de los bastones produce ese efecto, favoreciendo así el recogido de las bajas luminosidades que es una propiedad de los bastones, y en cuanto la intensidad de la luz aumenta se destruye el pigmento, desaparece su acción favorable y aumenta la resistencia. Bajo este aspecto la eritrosina es un *sensibilizador* de los bastones para la luz débil y un *limitador* de corriente para la intensa.

—La acción de la luz sobre el selenio se produce en las inmediaciones del contacto con los electrodos. Por esto en los bastones y conos se multiplica tanto el número de discos.

—Por último: la ley psicofísica de Feckner da una cierta

Hace diez años, en la *Revista Ibero-Americana de Ciencias Médicas*, número de Junio de 1906, consigné la semejanza de estructura de los bastones de la retina con la célula de selenio del fotófono de Bell (1).

Con gusto he visto al tiempo de corregir las pruebas de imprenta de este trabajo la semejanza del ojo humano con el "fonopticon," del Dr. Brown y con el "ojo eléctrico auto-mecanógrafo," del Ingeniero electricista de Brooklyn J. B. Flower, que utilizan el selenio para los puntos sensibles de su retina artificial (2).

Ambos aparatos leen las letras de imprenta de un libro que se les pone delante, traduciéndolas el primero en una serie de sonidos típicos para cada una y el segundo en el movimiento de la tecla correspondiente de una máquina de

(1) Declamos en una nota del artículo de referencia que trataba de la aplicación del fonógrafo á la auscultación médica. "Contribuye á afirmarme en esta idea la semejanza de la estructura de un *bastoncito* de la retina y la de la pila de selenio del fotófono de Graham Bell."

(2) De esto no di cuenta en las conferencias porque la descripción del último aparecía en la revista *Scientific American* el mismo día y el primero lo leí en la revista *Ibérica* del 22 de Abril.

escribir. Conseguido esto último, fácil sería ya sustituir aquella por la máquina parlante de Faber (Escuela de Medicina de París, año 1832) y leería en alta voz los impresos.

No vamos á detenernos en la descripción de dichos ingeniosos aparatos, fundados el primero en la impresión que produce sobre varias células de selenio la imagen reflejada sobre la página del libro de un trazo luminoso que pasa sobre las letras recogiendo, al ir las cortando, la sombra de sus líneas negras que varía la resistencia de unas ú otras células produciendo acordes de dos ó tres sonidos ó la sucesión de ellos, y el segundo recogiendo esa misma impresión de los trazos negros de cada letra por el movimiento del ojo delante del libro ú hoja impresa, sobre células de selenio colocadas de modo que por cada una pasa la imagen de una sola letra del alfabeto (claro es que se ha de conocer previamente para ese arreglo de células el tipo de letra empleado).

Una duda queda en el ánimo. ¿Hay selenio en nuestro organismo? Los análisis más escrupulosos no lo han encontrado. Ni siquiera lo utilizaba la Terapéutica. Y, sin embargo, hay un indicio precioso. Un medicamento moderno, el selenio coloidal, se fija con fruición á los elementos de la sangre, del hígado, del corazón, de los pulmones, de los huesos, de las glándulas suprarrenales y de los tejidos nuevamente formados.

¿No presidirá el proceso de la eliminación, y se llegará al conocimiento de su existencia y función en el organismo, por sus propiedades terapéuticas, como se descubrió el yodo en el cuerpo tiroides?

Pero aun supongamos que no existiese. Hoy se reemplaza la célula de selenio por la de potasio en Astronomía para recoger en los telescopios el débil centelleo de las estrellas que á simple vista no se percibe; se ha comprobado que recoge por lo menos variaciones de  $\frac{1}{20000}$  de segundo. Las mismas propiedades que el potasio tiene el sodio.

Y me parece que potasio y sodio no faltan en el organismo.

En el fondo, uno y otro, selenio y sodio obran accionados por la misma causa: el *efecto ionizante* de la luz que en el primero obra sobre los seleniuros sensibles disueltos en otros insensibles, y en el segundo sobre la superficie.

Selenio, potasio ó sodio la sustancia impresionable, queda perfectamente claro que **el elemento fotosensible de bastones y conos es igual al receptor del fotófono de Bell, forma parte de un circuito local y su corriente varía con la resistencia que ofrece aquél en relación con la intensidad de la luz que lo baña.** Así queda explicado, en los bastones, cómo recogen la intensidad del claroscuro y en los conos la de la luz monocromática.

## IMPRESIÓN DEL COLOR EN LAS CÉLULAS VISUALES

### El color.

*El color-vibración.*—Salimos del campo del claroscuro, de la luz blanca, para entrar en el mundo del color que, á modo de una dimensión más, aumenta y subdivide la especificación de los cuerpos en la Naturaleza. Metidos de por vida en el seno de una atmósfera luminosa que, pegada á la Tierra, la sigue en su movimiento á través del espacio, nos presenta el sol en ella los juegos de luz más grandiosos desde el intenso azul del cenit en los países tropicales á los

arreboses del horizonte en el ocaso del astro; todo porque unas partículas tenuísimas de polvo atmosférico y de vapor de agua rechazaron por reflexión las ondas de luz más pequeñas que ellas ó dejaron pasar sobre sí, á su través, las que las rebasaban; azules y rojos nacidos al encuentro con tales corpúsculos de media milésima de milímetro, que incendian millares de kilómetros y dan visualidad al firmamento; tras esos juegos espectrales de la luz, nacidos en simples estratificaciones de nuestra atmósfera (oleajes de la evaporación de la vida) si nos asomáramos al límite de aquella para ver lo que pasaba por fuera, contemplaríamos el sol con su color propio verde esmeralda destacándose sobre el negro intenso propio del cielo.

No sólo por *opalescencia* se rompe la luz blanca en sus colores; la *refracción* á través de medios más densos nos da toda la gama si son transparentes; la *reflexión total* con sus ángulos límites distintos para cada color, producen fenómenos tan curiosos como el que ve el buzo al mirar hacia la superficie del agua convertida en un gran espejo en donde se reflejan los objetos del fondo y sobre su cenit un agujero de bordes irisados á través del cual ve el exterior; la *interferencia* en las láminas tenues que reflejan sólo el color de longitud de onda igual al espesor de aquéllas, lo cual nos da en el plumaje de algunos pájaros, en las alas de las mariposas y en muchos coleópteros brillante gama cromática; la *polarización* que imprime el efecto de los más bellos fuegos artificiales á los fenómenos de la cristalización vistos con el microscopio; la *difracción* que quiebra la luz con un filamento delgado ó en los bordes afilados de cualquier abertura; la *resonancia* que deja que los cuerpos opacos ó semitransparentes reflejen ó refracten la luz después de absorber sus moléculas resonadoras las vibraciones que estén al acorde con ellas, con lo cual queda para color del cuerpo el conjunto de los tonos no absorbidos de los que integran la luz incidente (constituyen para los rayos absorbidos lo que en la fotografía cromática se llaman sensibilizadores); la *fluorescencia* que rebaja la frecuencia vibratoria al atravesar ciertas sustancias; la *fosforescencia* que guarda algún tiempo esa energía de vibración inferior....

Todos estos juegos ó descomposiciones de luz son los efectos de la materia (obrando por el tamaño de sus corpúsculos, por su naturaleza ó por su disposición y combinación) sobre la luz (distintos para cada color considerado como vibración). Veamos ahora el problema inverso: distintos efectos de la luz sobre la materia; transformación de luz en calor, que es rebajar la frecuencia de la vibración; alteración física de la superficie de los cuerpos; descomposición química de varias sustancias (distinta según los colores actuantes) ó provocación de combinaciones; transformación en electricidad; es decir, transformación de la luz en energía calorífica, mecánica, química ó eléctrica mediante la absorción de unos ú otros rayos por los corpúsculos sensibilizadores ó resonadores de que antes hablamos; variación de resistencia eléctrica de determinados cuerpos ó de emisión de iones en cuerpos electrizados; excitación ó aniquilamiento de fuerzas vitales, según los colores. Todos estos efectos están en relación con la intensidad de la luz actuante.

Los efectos de la *materia sobre la luz* descomponiéndola en colores, pueden servir de medios *analizadores* de la luz; los efectos de la *luz sobre la materia* si sólo interviene su intensidad, pueden servir de *colectores* de la luz analizada, transformándola en otra energía; y si dichos efectos son consecuencia de la intensidad y del color, podrán ejercer á la vez

las dos funciones de *análisis y recogido* de la luz en otra forma de energía.

Todas las teorías de la captación del color por las células visuales tienen que pertenecer y pertenecen, como veremos más adelante, á los citados sistemas, bien admitiendo en elementos anatómicos separados las dos funciones de análisis y de captación ó ambas en un mismo elemento.

Respecto á procedimientos de análisis no se ha hecho uso del de la refracción que yo propongo; y en cuanto á colectores, el único no adoptado es el de la fotoresistencia, que, creyéndolo precisamente el más sencillo y adecuado, forma parte de mi propuesta.

La fotografía registra el color-vibración; *separan* las funciones de análisis y de impresión todos los procedimientos que usan pantallas coloreadas (varias monocromáticas distintas, una sola con retículo policromático, ó las emulsiones de Sforza sobre la placa), el de dispersión espectral prismática (con retículo, con los diafragmas coloreados de Berthon ó con la lente no acromática de Rheinberg-Poirée), y el de las interferencias de Lippmann que utilizan como medio analizador la absorción ó resonancia cromática, la refracción ó la interferencia.

*Se juntan* ambas funciones de análisis é impresión en el método directo por decoloración de las materias orgánicas (las leucobasas), el de Lecther, en que cada grano está envuelto por una capa de sensibilizador cromático (separación al fin, pero microscópica), y, sobre todo, el del subcloruro de plata, cuerpo que Cajal llama, por su sorprendente cualidad, el *camaleón* de la Química.

La fotografía recoge más impresiones que el ojo, bien porque su umbral es más bajo, ó bien, y esto es lo principal, porque acusa, además de las luminosas, las radiaciones químicas; tiene mayor esfera de acción.

No sólo resurge el color al contacto de la luz con los cuerpos, sino también en el foco mismo. La *incandescencia* producida por la elevación de temperatura originada en la oxidación ó en la resistencia al paso de la electricidad (por filamentos ó gases), ó la *transformación* de energías superiores en luz, como en las sustancias radioactivas, engendran distintos colores, según sea el medio empleado y la intensidad de la energía prima.

En los abismos de los mares donde la luz externa no llega, se quiebran en los bosques de pólipos produciendo mágicos reflejos los rayos multicolores que despiden los fanales vivientes de sus extraños habitantes. Oxidación también, al fin y al cabo, que aquí lo es de la luciferina por la luciferasa completada con la transformación de las radiaciones químicas en luminosas, en la luciferescencia, operaciones realizadas en sus órganos fotogénicos, inverso de los visuales que contienen como éstos córnea transparente, cristalino, pupila, en lugar de la retina un reflector y del humor vítreo la sustancia fotogénica mencionada. Esta *luz fría* tiene la propiedad de cambiar de color á voluntad del animal.

*El color-sensación.*—Tiene propiedades distintas del color-vibración; las vibraciones no se fusionan jamás, no se componen en una sola; se superponen, rizando el rizo, ondulando la onda; precisamente esa propiedad de poder viajar juntas sin confundirse se ha utilizado en muchas transmisiones para ahorrar alambres. En cambio, las sensaciones de colores distintos se fusionan tan íntimamente, por entero, que no pueden percibirse los componentes; esta diferencia se ve palpable comparando el sonido con el color.

No deja de chocar siempre que de composición de colores se trata que la práctica no confirma la teoría de Newton de formación del blanco por la mezcla de aquéllos, excepto si lo que se junta son rayos de luz y no pastas industriales. En esto último estriba precisamente la dificultad; no se ha conseguido crear artificialmente el color puro y cada color tiene algo de los demás en proporciones desconocidas; al mezclarlos nunca resultan las proporciones de conformidad con la fórmula teórica.

De aquí seguramente que Young, al sentar su teoría, tuvo que ampliar, aunque á poca intensidad, el campo de reacción de sus tres fibras específicas; porque el rojo que debía, por ejemplo, recoger una de ellas no era rojo puro, sino rojo en su máxima sensibilidad y verde y violeta con intensidades decrecientes.

Otra discrepancia estriba en el contraste que modifica los colores-sensación cuando se presentan simultánea ó sucesivamente, bien reforzando los tonos cuando son complementarios, bien alterándolos con la adición sugestiva (ó fisiológica), á cada uno, del color complementario de los demás.

El color negro, que como vibración tiene su puesto entre las variaciones infrarrojas ó las ultravioletas aparece, al ser considerado como sensación, en cualquier lugar de la gama luminosa con tal de que los colores que lo rodean sean mucho más intensos; el contraste ahoga la luz en el intermedio, la anula hasta darle la apariencia de radiación no luminosa (calorífica ó ultravioleta), que es la representación positiva del color negro, generalmente definido por ausencia de sensación. Yo creo que debe hacerse una distinción entre el color negro, la oscuridad ó tiniebla y la ausencia de sensación visual. El primero tiene una existencia real en el mundo físico, á la cual corresponde una sensación propia ó una engañosa que la aparenta en el contraste citado; la segunda es también una sensación real, la sensación de la ausencia de impresión que debía llegar de la retina; y sólo en el caso del sueño visual, de completa paralización de la función cerebral correspondiente, existe la ausencia de sensación, de lo cual no tenemos, naturalmente, sensación ninguna: es la sensación de la nada.

Hay un color-sensación que no aparece como color-vibración en el espectro; el púrpura, color complementario del verde en la luz blanca.

No toda la retina es igualmente sensible á los colores; para la misma intensidad de luz hay una zona central que los recoge todos; una faja alrededor que deja de recoger el rojo y el verde, quedando apta tan sólo para el amarillo y el azul que dejan de percibirse más allá para quedar sólo sensible al blanco y negro. Si se aumenta la intensidad de la luz las líneas de división de esas zonas se retiran más del centro y aumentan aquéllas.

Parece como si la retina en sus primeros tiempos hubiese percibido sólo el color blanco, descomponiéndose luego con la educación en los colores rojo y verde (complementarios) y más tarde en amarillo y azul (complementarios también).

La sensación de los colores se va desplegando dentro de la misma estructura de la retina, por ejemplo, en los vertebrados, desde los seres inferiores hasta el hombre, y dentro del hombre desde su aparición hasta hoy á través de las generaciones; dentro de la misma generación, de los pueblos salvajes á los civilizados, con la educación visual; en el mismo individuo, desde el nacimiento á su edad adulta; en el mismo instante, del centro de la retina á su periferia, y en

un mismo punto de la retina, de la luz débil á la luz intensa. Se va extendiendo la pancromatización y ampliando la lista de colores compuestos perceptibles.

La mancha amarilla (mácula lútea) de la retina es su zona más sensible pasando de cierto grado de iluminación; es algo así en la vista como la membrana tectorial del caracol en el oído; es el sitio donde se realiza el análisis con toda perfección.

Los vertebrados inferiores tienen además otra clase de visión que sustituimos nosotros rudimentariamente con la visión indirecta ó periférica.

Las aves, los reptiles y los batracios tienen en sus "células visuales conos," unas esférulas coloreadas (cromófanos) entre el elipsoide y la varilla fotosensible que no se ve qué relación puedan tener en el análisis de los colores ya que no varían de color y están los colores muy desigualmente repartidos. En mi opinión, el tercer párpado ó membrana nictitante sirve para la visión de mancha, de luz difusa que utilizan las aves en sus raudos vuelos para recordar los bosques, campos, mares, etc., que cruzan á velocidades tan grandes como la de 100 kilómetros por hora la paloma mensajera, 250 la golondrina ó 317 el vencejo. Para analizar el color de esas manchas deben servir los cromófanos que dirigen la luz por dentro de las varillas fotosensibles de los conos, no importando que estén separados los de un mismo color porque no sirven para la icono-visión, la cual no estorban cuando usan de ella por cuanto entonces los rayos de luz que hieren la varilla fotosensible del cono es por fuera, refractándose en el elipsoide y rodeando al cromófano.

Igual función de "visión de mancha," debe tener el ojo parietal subcutáneo del reptil iguana y los rudimentarios de manchas pigmentarias de distintos colores.

Algo de esto debe pasar en los bastones retinianos de algunos vertebrados que *interpretan* el color por la distinta intensidad de luz que reciben en grupos especiales de bastones, como los rojos y los verdes en las ranas que hace que cuando la mancha tiene uno de esos colores sea más intensa la impresión en ellos, como en el hombre son más sensibles los bastones á igual intensidad luminosa para los rayos verdes.

El color-sensación está expuesto á los cambios producidos por alteraciones fisiológicas ó patológicas.

Cuando la retina está adaptada á la luz diurna, los colores rojo, anaranjado y amarillo parecen más luminosos y los verdes, azules y violetas más oscuros; al revés de lo que pasa á la luz crepuscular.

Si la luz crece en intensidad los colores tienden al blanco, y por el blanco empieza al partir de la luz débil.

Todos los colores están mezclados con blanco; cuanto menos tienen se dice que son más saturados; pero el color puro, ó sea el máximo de saturación, no existe; por lo menos en el color-sensación. No sólo influye en la clase de color su intensidad absoluta, sino que *debe* influir también el distinto grado de excitabilidad nerviosa en cualquier punto del circuito (retina ó cerebro) y, por tanto, cuantas causas la alteran: la oscilación magnética durante las horas del día, la electricidad atmosférica, la alimentación y la voluntad (por medio de la atención). A propósito de esto último dice Marcel Dufour en sus *Questions d'optique psychologique* que, por las leyes de la Física sola no se explica la inhibición voluntaria de uno de los colores que llegan juntos á la retina (experiencia de un rayo coloreado que atraviesa un cristal y otro que se refleja sobre su superficie).

Con todas estas concausas, sin variar el color físico, puede alterarse su impresión en la retina, pero también desigualmente la receptividad de las células cromáticas cerebrales; variar, en fin, la tricromatopsia.

La fatiga por excitación intensa ó continuada del mismo color altera también su sensación.

Como alteraciones patológicas, temporales ó permanentes, se conocen el sistema tricromático anómalo, el dicromático y el monocromático (ceguera total para los colores).

El primero se manifiesta en los que la combinación de colores da resultados distintos, por ejemplo, en lugar del amarillo homogéneo (589  $\mu$ ), resultante de la combinación del rojo (671  $\mu$ ) y amarillo verdoso (536  $\mu$ ), ven el rojo (protanómalos) ó el verde (deuteranómalos).

Al dicromático pertenecen los ciegos para el rojo (protanopos), para el verde (deuteranopos) ó para el violeta (tritanopos); los dos primeros ven sólo tonos amarillentos en la primera mitad del espectro de los tonos cálidos, y azules en los fríos, con distintos tonos de intensidad y separados por una zona incolora que ocupa el lugar del verde en los unos y del anaranjado en los otros.

Los protanómalos ó daltónicos ven acortada la mitad del espectro del lado rojo (que ven como amarillo oscuro) y la máxima claridad en el sitio del verde. El rojo y el verde aparecen del mismo tono amarillento y distinta intensidad; por esto, á determinada diferencia de intensidades lumínicas respectivas que la compensen no los distinguen.

Dentro del sistema dicromático hay también la ceguera para el amarillo y azul; ven blanco el blanco, el amarillo y el azul indigo; rojo los de onda larga y verde los de onda media.

Los acromatópsicos (sistema monocromático) ven sólo el clarooscuro con máximo de claridad en la región del verde amarillento del espectro.

Tan rica es la gama de la luz originada en la Naturaleza por todas las causas directas ó indirectas, antes enumeradas, que el hombre no ha podido aún catalogarlas. Valiéndose de un sistema convencional (que es sólo uno de los que aquélla emplea y que no tenía más objeto que su aplicación industrial) logró Chevreul formar una lista de 14.400 colores (20 gamas de distinta saturación cada una, de 720 tonos), de los cuales se llegaron á imprimir sólo 967. La clasificación estaba fundada en la mezcla material de la pasta de los colores, sustituida hoy por la mezcla óptica (sistemas Newton, Maxwell, Forichon).

Pobre la industria de los colores para imitar los de la Naturaleza, se valen los pintores para producir un efecto parecido, del contraste entre los tonos que emplean. Por cierto que cada escuela tiene su tónica especial copiada de la flora y fauna de la región en que viven sus adeptos; la gama española y la italiana tienen por tónica el amarillo, la de Rubens el jacinto, la de Rembrandt el azul; parece como si las tónicas del color que la Naturaleza da sobre los distintos paralelos y el pintor recoge, respondieran á un gigantesco espectro luminoso tendido sobre el meridiano, que variase desde el rojo ecuatorial al helado violeta, siguiendo la gradación de la vida sobre la faz de la Tierra.

En la pintura decorativa se hace uso de los acordes cromáticos (contraste.)

La armonía coloreada ha sido sentida más por los pueblos orientales porque la pureza de su cielo deja al sol verter sus torrentes de luz, dando á los cuerpos una claridad in-

tensa, violenta; han tenido que echar mano de colores muy saturados para que fuesen permanentes y la menor discordancia en los colores yuxtapuestos heriría tanto la vista como una nota falsa en un instrumento estridente, más tolerable entre los sonidos suaves y las tintas grisáceas de los países septentrionales de eternas brumas. La armonía cromática realizada con tonos puros, saturados, es la más difícil, pero la más rica y esplendente. Está fundada en que todos los colores empleados pueden dar por su combinación el gris claro, en el cual descansa la vista, experimentando una sensación agradable; esto equivale á decir que las impresiones de colores sean tales que las células cromáticas que las reciban se repartan el trabajo por igual; *el equilibrio estético, como dice Forichon, es consecuencia del equilibrio visual.*

\*  
\*\*

Hemos pasado revista al color como entidad del mundo físico, al mismo como sensación ó entidad del mundo interior y el sentimiento estético que su combinación produce, sensación de otro orden, la emotiva, unión íntima con nuestro yo.

Al considerar la infinita variedad de tonos que nos presenta la Naturaleza, combinados por cierto en plantas, flores y pájaros bajo los más perfectos principios de armonía y la instantaneidad con que los vemos no nos damos cuenta de que por bajo del tiempo mínimo de percepción destrozamos los colores, los empaquetamos y enviamos sucesivamente al cerebro para volverlos allí á soldar sin que se conozcan las uniones y produciendo el efecto de la continuidad en el cambio, siendo así que la mutación es intermitente con todo el aparato escénico de un cambio de decoración en cada instante.

Al explicar sus trámites es como si al mudar del tiempo aplicáramos un microscopio dinámico para separar los instantes sucesivos unos de otros, agrandar cada uno de ellos y ver cómodamente cuanto en los mismos pasa. Es como si frenásemos el péndulo del tiempo transformando las milésimas de segundo en horas para ver despacio y darnos bien cuenta de toda la tramoya. Con ello ya sabemos que descuartizamos la ilusión y demolemos con la picota ilusiones bellas, pero si no nos hacemos cargo de que la urdimbre de lo continuo es lo discontinuo, pasando de uno á otro con sólo variar de escala y que la línea de separación está muchas veces en el umbral que separa lo consciente de lo inconsciente, pareceríamos harto grosero y material cuanto vamos á exponer para explicar las gradaciones insensibles del color y la rapidez, casi instantaneidad, de la percepción del mismo.

Una vez hecha la disección dinámica y material no importa que disparemos á toda velocidad la película cinematográfica, sabiendo lo que en su movimiento realiza, ó que lo miremos todo otra vez con los gemelos al revés que pulveriza los detalles y da aspecto de continuidad á lo que antes vimos troceado; el sentimiento de la ilusión volverá á sustituir al escalpelo de la realidad.

### TEORÍAS EMITIDAS

Casi todas las teorías se fundan en la propiedad, conocida desde tiempo de los griegos, de que puede obtenerse la sensación de cualquier tono y saturación de color, mezclando en distintas proporciones tres determinados que se lla-

man fundamentales; hay quien en su lugar admite sólo dos, otros cuatro y hasta cinco; sean los que quiera, la combinación de su reducido número, á distintas intensidades, facilita los millares de tonos conocidos.

Otra propiedad bastante generalmente admitida como base de las teorías de impresión del color, es la señalada por Vries de separación de funciones entre el bastón y el cono; aquél recoge el claroscuro y éste el color.

Clasificadas por el modo de realizar el análisis y la captación del color, como anteriormente dijimos, vamos á exponer sucintamente las teorías más conocidas.

*Función analizadora y de impresión á la vez, en la misma sustancia.* — Partiendo del hecho de que los segmentos internos de los conos se contraen á la luz proporcionalmente á su intensidad, y que al igual de los demás músculos del organismo se tiene la sensación de cuanto se contraen, supone *Dubois* que la percepción del color se origina por la velocidad de contracción, rápida para el violeta, lenta para el rojo.

A las mismas ideas de acción fotomecánica pertenece la teoría del año 1913, de *Tscherning*.

*Función analizadora y de impresión á la vez, en una sustancia distinta para cada color.* — Supone *Young* que en cada punto de la retina hay tres conos que recogen aisladamente los tres colores fundamentales, rojo, verde y violeta.

Como no se han comprobado esas triadas de conos, pues todos son iguales, *Helmholtz* supone que en cada cono hay tres sustancias incoloras, ignoradas, sensibles respectivamente á cada uno de los tres colores fundamentales y que cada una origina una corriente nerviosa de modalidad distinta.

Cuáles sean esas modalidades, cómo se producen, cómo viajan juntas sin mezclarse, y qué sustancias fotoquímicas son quedó por explicar, y, sin embargo, esa teoría sigue aún predominando por la facilidad que da á la explicación de muchos fenómenos de la visión, las cegueras cromáticas parciales, las imágenes de contraste, las imágenes sucesivas, etc.

En lugar de tres sustancias fotoquímicas sensibles respectivamente á los tres colores fundamentales, supone *Hering* que una es sensible al blanco y negro; otra al rojo y verde, y la restante al amarillo y azul; las seis sensaciones primarias que admitía Leonardo de Vinci. Cada una de aquéllas sustancias se descompone ó se regenera, obedeciendo al principio general del organismo, de desasimilación y asimilación. Se gastan al recibir el color blanco, el rojo y el amarillo y se rehacen en el negro, el verde y el azul.

*Troland* opina que son cinco las sustancias visuales específicas y que la acción de las radiaciones de distinta longitud de onda consistiría en la ionización respectiva de esos resonadores moleculares; los colores son, como los de *Hering*, rojo, verde, azul, amarillo y blanco.

De ambas teorías decimos lo mismo que de la de *Helmholtz*. Se ignora qué sustancias son esas, qué clases distintas de corriente nerviosa originan y cómo tales corrientes viajan juntas sin mezclarse.

*Parinaud, Rouget, Schultze, Draper y Morano*, sin descender al detalle, afirman que la forma de la corriente nerviosa correspondiente á cada color debe ser distinta, producida por acción directa de la luz ó después de transformada en calor por la coroides, y el apreciarla es función del cerebro.

*Gómez Ocaña* afirma que esa diferencia entre las co-

rientes nerviosas correspondientes á cada color debe consistir en su distinta vibración, como el tono en el sonido.

*Función analizadora separada de la de impresión.*—En la teoría de acción fotomecánica de Dubois introduce Weinland una modificación. Atribuye la contracción de los conos á la explosión en mayor ó menor grado de una sustancia del pigmento de la coroides, producida por el calor que acompaña á los rayos luminosos, de *temperatura distinta* en cada color.

Respecto de las teorías de Dubois y de Weinland repetimos lo que dijimos al tratar de los bastones: que esa contracción es una acción refleja producida por el cerebro, *después* que éste recibió la impresión de la luz; queda, por tanto, en pie cómo se verificó esta impresión.

*Charpentier* acepta á la vez la acción fotoquímica y la fototérmica; la primera basada en la eritrosina, dice, produce una corriente nerviosa ondulatoria de determinada longitud de onda, siempre la misma; y el calor recogido por el pigmento de la coroides produce otra corriente ondulatoria de fase distinta, submúltiplo de la primera, igual para todos los colores, pero que empieza más ó menos tarde según el color; en seguida para el rojo y con el retraso de una semionda para el violeta. La suma de las dos corrientes, en que una de ellas retrasa su fase, según acabamos de decir, produce una ondulación típica especial, siempre la misma para cada color. Al cerebro queda luego el cuidado de reconocer el color según la forma de la ondulación. Este es el punto que queda oscuro, aparte de que no explica cómo se origina tal ondulación. *Lelong* lo hace, diciendo que el calor es causa de que afluya la sangre en las venas de la coroides, se hinche el pigmento y comprima á las varillas de los conos.

Ya dijimos que la acción de la eritrosina no se puede admitir, y en cuanto á los rayos caloríficos que á través de los medios atermianos se siguen viendo los colores.

*E. Castelli* supone que las granulaciones pigmentarias de igual tamaño que las ondas luminosas de cada color entran en vibración con ellas á modo de resonadores ópticos verificándose así el análisis ó separación de los colores. Estas vibraciones traerían consigo el movimiento de los conos, distinto para cada color, y excitación consecutiva de la primera neurona.

*Schenck* separa también las dos funciones, analítica y de impresión ó recepción del color, aunque la primera no se realiza por una sola sustancia ú órgano, sino que, como en la teoría de Castelli admite que para cada color fundamental hay una sustancia distinta, pareciéndose en esto á la de Young-Helmholtz y distinguiéndose de ella en que las dos funciones no se realizan conjuntamente en cada una de esas sustancias, sino en otras adjuntas.

Admite en cada cono tres fibras nerviosas rodeada cada una por una sustancia *sensibilizadora* como las que se usan en la fotografía de colores; una absorbe el rojo, otra al verde y otra al violeta, y al absorber tal energía se excita la fibra correspondiente en la cual supone una sustancia excitadora de la corriente nerviosa.

Tales sustancias sensibilizadoras cromáticas establece que derivan por descomposición del blanco primitivo en amarillo y azul, y el amarillo, á su vez, en rojo y verde, proceso que llama pancromatización.

*Cajal* explica la producción de esa corriente ondulatoria de fase distinta aplicando la teoría de la fotografía interferencial de Lippmann y de las ondas estacionarias de Zen-

ker. La luz que atraviesa los discos de que se componen bastones y conos, separados por rodajas de un cemento especial, se refleja en parte en cada uno, y la interferencia de la onda incidente y la reflejada de cada color producen nodos y vientres, ó sean secciones transversales paralelas á los discos, oscuras y de máxima intensidad. La distancia entre los máximos y mínimos es distinta para cada color.

Una sustancia visual incolora contenida en el cono se descompondría en los máximos y se originarían diferencias de tensión energética (sea eléctrica, química ó térmica) que se traducirían en descargas *sucesivas*, dando lugar á una corriente ondulatoria de distinta fase para cada color, de una fase media para el blanco.

En esta teoría la función analizadora corre á cargo de los discos de los conos y se verifica por medio de la interferencia; la función de impresión la efectúa esa sustancia ignorada que produce las referidas descargas.

Resumiendo: la teoría de la percepción del color por la contracción de los conos no se puede admitir, porque se verifica después de la impresión y en el hombre apenas se contraen; por la existencia de conos específicos para cada uno de los tres colores fundamentales tampoco porque no existen; por distintas sustancias sensibles en el cono, quedan sin explicación los puntos más esenciales; y las restantes que atribuyen á la corriente nerviosa de cada color, carácter ondulatorio de forma ó fase distinta, dejan sin explicar, á mi entender, el hecho experimental de que lanzando una corriente *constante* por el nervio óptico (poniendo los reóforos en la córnea y en la nuca) el cerebro percibe los colores y no hay corriente ondulatoria.

¿Dónde buscar otra orientación?

El procedimiento para recoger la intensidad de cada color no nos debe preocupar; puede ser el mismo para todos, el que dijimos del selenio ó de la fotorresistencia eléctrica; bastaría que encontrásemos un analizador de los colores que los echase sucesivamente sobre la varilla fotosensible de los conos. Repasando los distintos sistemas que emplea la Naturaleza para descomponer la luz encontramos que varios se han utilizado en las teorías expuestas, pero no el de la refracción que tan adecuado es para el objeto que nos proponemos.

Si examinamos los métodos empleados en la fotografía heterocromática veremos que se han aprovechado para las teorías expuestas de la visión: del *indirecto*, *procedimiento aditivo*, el de yuxtaposición de pantallas coloreadas microscópicas para la de Young; del *directo*, *procedimiento del subcloruro de plata*, para las de Parinaud y Gómez Ocaña; *procedimiento de Luther*, para las de Helmholtz, Hering y Troland, y *procedimiento de los sensibilizadores*, para las de Castelli, Schenck y Charpentier; el *interferencial*, para la de Ramón y Cajal; y para las fotomecánicas de Dubois, Weinland y Tscherning un procedimiento del *método directo*, que pudiéramos asemejar al de la hinchazón de la gelatina si en lugar de ser sensible á la intensidad de la luz lo fuese á la cualidad del color.

Queda por utilizar, aparte del *procedimiento sustractivo* (monócromos con pigmento) del método indirecto, el *procedimiento aditivo* del mismo método con dispersión espectral ó con adición simultánea y sucesiva de positivas monócromas; dispersión y adición sucesiva de monócromas que, como veremos más adelante, caracterizan mi propuesta para la teoría heterocromática de la visión. En ella la función analizadora está separada de la de impresión; la primera

se realiza *en un mismo elemento* para todos los colores (el elipsoide), y la segunda también *en un mismo elemento* para todos los colores (la varilla fotosensible del cono).

Pasemos á su exposición.

### Aberración cromática.—Mi propuesta.

Se atribuye al ojo otro defecto á más de la aberración de esfericidad; y éste es la aberración cromática. Un rayo de luz blanca que atraviesa una lente se descompone como en el prisma en rayos de los colores simples por tener éstos distinto índice de refracción; por ser más refrangible el violeta forma su foco más próximo á la lente y el rojo más separado. La imagen de un punto luminoso blanco no es un punto blanco, sino una serie de focos monocromáticos, pasando por todos los colores del espectro, del violeta al rojo. ¡Y cosa rara!, al mismo tiempo que se ha estado aguzando el ingenio para explicar de qué medios se vale la Naturaleza para *descomponer* en cada cono un color compuesto en sus elemen-

de cada color contrayendo el segmento interno del cono, que sabemos es muscular.

Y si cada posición de la varilla se corresponde en el cerebro con la de la *aguja* que echa la corriente por una vía ú otra, como veremos más adelante, resulta que cada corriente cromática va á su *cochera*.

Esta solución que propongo es la más sencilla que se puede presentar del problema; con *una sola* sustancia sensible (el selenio) se recogen *todos* los colores.

La aberración cromática no es, pues, un defecto del ojo; es la ley física de que se vale la Naturaleza para analizar un color compuesto y recoger sólo su intensidad con el receptor de selenio de la varilla del cono, sin complicar su estructura con sustancias sensibles á cada color.

*En los animales que no tienen casi aberración cromática por la forma de su cristalino (anfibios y peces) apenas ven colores, al contrario de los pájaros, en que la aberración es exagerada y ven muchos.*

\*\*\*

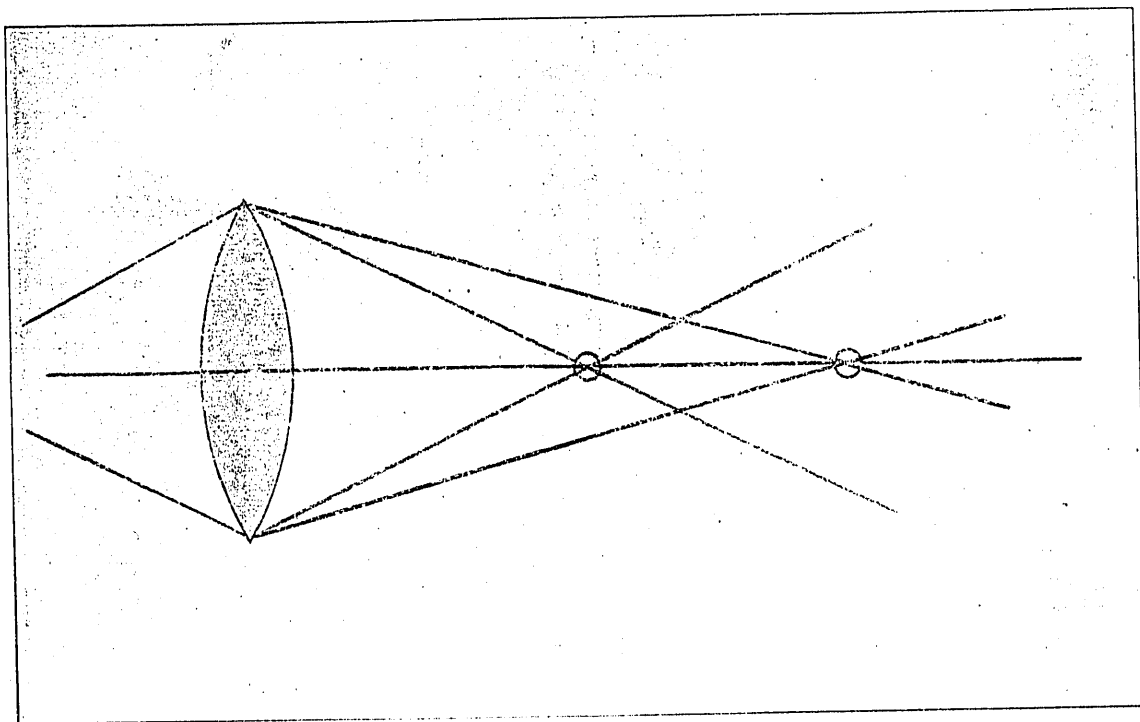


Fig. 7.<sup>a</sup>

tales, le atribuimos el defecto de que cumpliendo las leyes de la Óptica nos lo dé descompuesto á lo largo de la varilla del cono, tendido el espectro sobre la misma para que no tenga más trabajo que recogerlos; que se haya adelantado la Naturaleza al sistema de fotografía de colores de Rheinberg y Poirée, que emplea para ello una lente con aberración cromática como el ojo para tener así la luz descompuesta en sus colores simples sin necesidad de intercalar prismas como se hace en otros sistemas de fotografía de colores por dispersión espectral.

En el ojo humano la longitud de esta aberración, ó sea la separación entre el foco violeta y el rojo, es de medio milímetro.

Si aplicamos la aberración de esfericidad, cada uno de esos focos cromáticos se extenderá á modo de estuche luminoso del color respectivo, uno tras otro y sin recubrirse. Por datos de la experiencia se sabe que cada uno tiene mayor longitud que la varilla del cono.

Basta, pues, que dentro del tiempo de la persistencia de la visión la varilla del cono recoja *sucesivamente* la intensidad

de cada color quedando resuelto el análisis de los colores por la retina, pero la Naturaleza ha afinado más el procedimiento.

Para no contraer y dilatar en toda la longitud de la aberración cromática el segmento muscular del cono, lo deja quieto y contrae y dilata sólo el elipsoide fibroso (por esto es fibroso) achatándolo y estirándolo, con lo cual hace variar la inclinación de los rayos cromáticos que atraviesan el elipsoide y los echa *sucesivamente*, al salir, sobre la varilla del cono (*sobre* y no por dentro como se ha venido suponiendo).

Para poder sentar esa afirmación, el elipsoide ¿es un cuerpo refringente? En los vertebrados inferiores, como en algunas ranas, no hay duda, es de igual aspecto que el cristalino; Hannover le llama cristalino del cono. Es cierto que en los vertebrados superiores es francamente fibroso ó filamentososo; pero, ¿es que no es fibroso el cristalino? El elipsoide es un cristalino sin cemento aglutinante entre las fibras, de fibras sueltas; ¿no basta esto para la luz difusa, pues no tiene que formar imágenes? Hasta en la disposición de las

fibras tenemos otro caso parecido: el cristalino de las aves tienen sus fibras en la dirección de sus meridianos; y en los invertebrados es algo semejante en su forma y en el modo de desviar los rayos luminosos el cristalino del ojo simple de las moscas.

De que es transparente no hay duda, puesto que está situado en el paso de la luz; y de que es *refringente* tampoco, puesto que no está sumergido en ningún líquido de igual densidad.

Dice á este propósito el distinguido fisiólogo Schenck en el tratado alemán de fisiología, publicado por N. Zuntz y A. Loewy: "El foco luminoso, según han demostrado Boll, Brücke y Garten, cae sobre el segmento interno de conos y bastones entre el elipsoide y la membrana limitante externa, cerca de esta última, y luego los rayos luminosos, en su último camino *"por la refracción de los elipsoides"*, son con-

mentos, que esa vibración es transversal, sin explicar su causa. ¡Qué más transversal, en todos sentidos, á la dirección del cono que el achatamiento y adelgazamiento del elipsoide!

¿En virtud de qué se contrae y dilata el elipsoide?

La varilla de selenio del cono para funcionar necesita ser atravesada por una corriente eléctrica. Esa corriente viene del cerebro y como todas las procedentes de los centros motores es alterna; la duración de la fase completa  $\frac{1}{30}$  de segundo. Esa corriente, al mismo tiempo que la varilla, la recibe un filamento que existe en su eje, en el que se reúnen todas las fibras del elipsoide, las cuales por abajo vuelven á juntarse en otro filamento que atraviesa toda la neurona del cono; en la onda positiva se dilata el músculo-elipsoide; en la negativa se contrae.

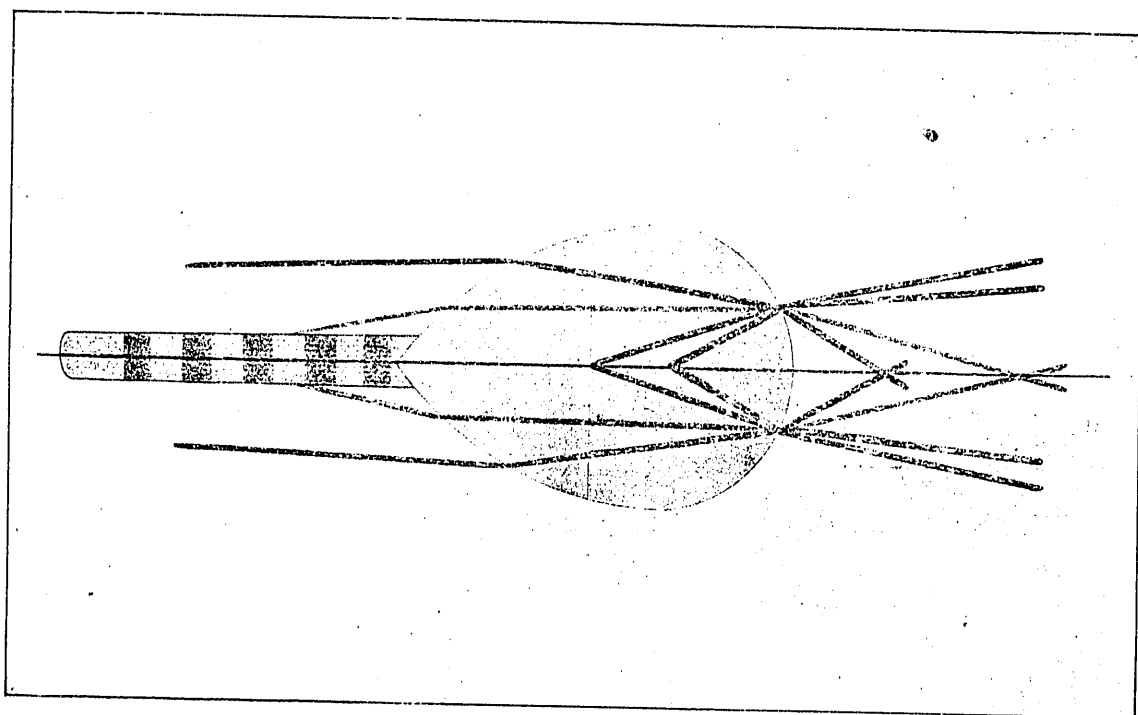


Fig. 8.<sup>a</sup>

ducidos al segmento externo de conos y bastones que es el órgano propiamente sensible á la luz.

¿Se puede afirmar que el elipsoide es contráctil?

La disposición de sus fibras predispone á creerlo; su homólogo el cristalino es contráctil para la acomodación.

Es digno de observar que en los animales de visión acromática el elipsoide no es fibroso, sino de una sustancia gelatinosa no contráctil.

Es un hecho probado, por otra parte, por Charpentier que cada punto de la retina herido por la luz es un centro de formación de ondas análogas á las que se producen en el agua tranquila cuando se arroja una piedra, lo cual aquí hay que atribuir á algo que se contraiga y se dilate. Charpentier ha medido la duración de la fase de esas ondas; es la misma de la percepción de un color compuesto:  $\frac{1}{30}$  de segundo; la misma que empleará el elipsoide en su contracción y dilatación para volver á su posición normal. En cada cono de la retina se ha comprobado que hay una vibración (que no se sabía á qué atribuir) de igual duración á la vibración elástica que propongo del elipsoide.

Pero aun hay más. Charpentier prueba, con sus experi-

Durante la dilatación ó fase positiva de la corriente recoge (porque así lo da la refracción para la forma que toma el elipsoide y la diferente densidad consiguiente de su materia) el rojo y el amarillo; durante la contracción ó onda negativa el verde y el azul; el orden en que se presentan ó pasan los colores durante la fase completa de dilatación y contracción del elipsoide es: rojo, amarillo, verde y azul, el mismo del espectro; el mismo precisamente en que se van percibiendo cuando caen todos á la vez sobre la retina.

Ese retardo en la percepción del color, á medida que es más refrangible, que Charpentier atribuía á distinta sensibilidad de la sustancia visual á los diversos colores, queda explicado sencillamente porque ese es el orden en que se reconocen.

Por este mismo motivo un papel blanco iluminado por una chispa eléctrica aparece de distinto color según la duración de aquélla, y los sectores blancos y negros de un disco que gire rápidamente se ven con los bordes irisados á determinada velocidad.

Este procedimiento que propongo de recoger los colores fundamentales sucesivamente en cada periodo de tiempo de la persistencia de la visión para fundirse dentro del mismo,

es análogo al sistema adoptado para impresionar la película del cinematógrafo en color de Smith: por delante del objetivo pasan sucesivamente las pantallas rojas y verdes (no adopta más que dos colores simples), para lo cual van montadas en un disco que gira rápidamente y las fotografías que impresionan la película son alternadamente las que corresponden á cada uno de esos dos colores en el natural.

En nuestra teoría el paso de la pantalla coloreada se sustituye por el cambio de forma de la lente-elipsoide dispersiva del color, y como en todos los conos se recoge á la vez lo que hay de cada color en la imagen, es como si interpusiéramos al paso de la luz un cristal de ese color, luego el otro y después el restante con la suficiente rapidez para que se fusionen en las células perceptivas del cerebro dentro del período de persistencia de la visión. Es análogo, en cuanto al resultado obtenido, al sistema fotográfico de monócromas por adición sucesiva, y en su actuación al de dispersión espectral de Rheinberg y Poirée, como habíamos anunciado al clasificar las teorías emitidas, por los métodos de fotografía heterocromática en uso.

Para la regularidad de recogido de los colores pudiera ser un inconveniente la variación de las cáusticas para cada acomodación del cristalino; no hay tal: para los puntos enfocados la separación entre la superficie posterior del cristalino (que es inmóvil según Tscherning) y la retina en donde se ha de pintar el punto focal es constante; la superficie anterior es la que se encorva más ó menos (merced al avance de su núcleo central duro) para recibir los rayos más ó menos inclinados, del objeto, según la distancia á que éste se halle.

\* \*

La corriente eléctrica alterna que pasa por la célula visual viene de las coroides y va, quizá, al reservorio común de la membrana limitante externa. La corriente nerviosa originada en los conos sale en dirección horizontal por la estrella aplanada de filamentos de su pie, que está colocada frente á frente de otra análoga, que es el penacho de la célula bipolar (2.<sup>a</sup> neurona), á la cual induce con sus radios paralelos á los suyos.

Dicha corriente eléctrica es refleja, y su potencial depende de la intensidad de la luz que hirió á los bastones; á poca intensidad y, por tanto, poco potencial sólo se cogen

en el elipsoide los colores amarillo y azul; y si en su variación ondulatoria el potencial máximo es mayor que el referido, coge también los colores rojo y verde; de modo que el potencial de la corriente nerviosa que lleva la impresión del color amarillo ó del azul oscila entre cero y un cierto valor medio, y la del rojo ó verde entre dicho valor medio y el máximo.

Ya dijimos que los conos de la retina, á igual intensidad de luz, iban decreciendo de sensibilidad cromática del centro á la periferia. Relacionando esto con lo dicho anterior-

mente, resulta que en cada instante los potenciales de los conos de un meridiano crecen de cero en la periferia á su máximo en la foseta central, y á mayor intensidad luminica el arco que forma la representación gráfica de dichos potenciales tiene más flecha.

Es de notar que á medida que decrece la sensibilidad cromática de los conos y su potencial máximo, el elipsoide es más grueso y la varilla fotosensible más corta; signos característicos por los cuales podemos conocer la amplitud visual que tiene para los colores cualquier animal.

## SEGUNDA NEURONA

### PASO POR LA BIPOLAR Y SU ETIQUETADO POR LAS CÉLULAS AMACRINAS

Hemos dicho que las corrientes de varios conos van á parar á una misma célula bipolar y que las de varias bipolares se reúnen en una ganglionar. Algo debe diferenciar á unas de otras al viajar juntas por el mismo conductor ó fibra nerviosa, pues si no, resultaría perdido el trabajo de análisis puntual de la imagen que hicieron los conos. Con gran acierto dice Gómez Ocaña en su erudito trabajo sobre la visión que cada una de esas corrientes debe estar constituida por una vibración distinta.

¿Cómo se efectúa la vibración que individualiza las corrientes de las bipolares?

Opino que debe realizarse por medio de las células ama-

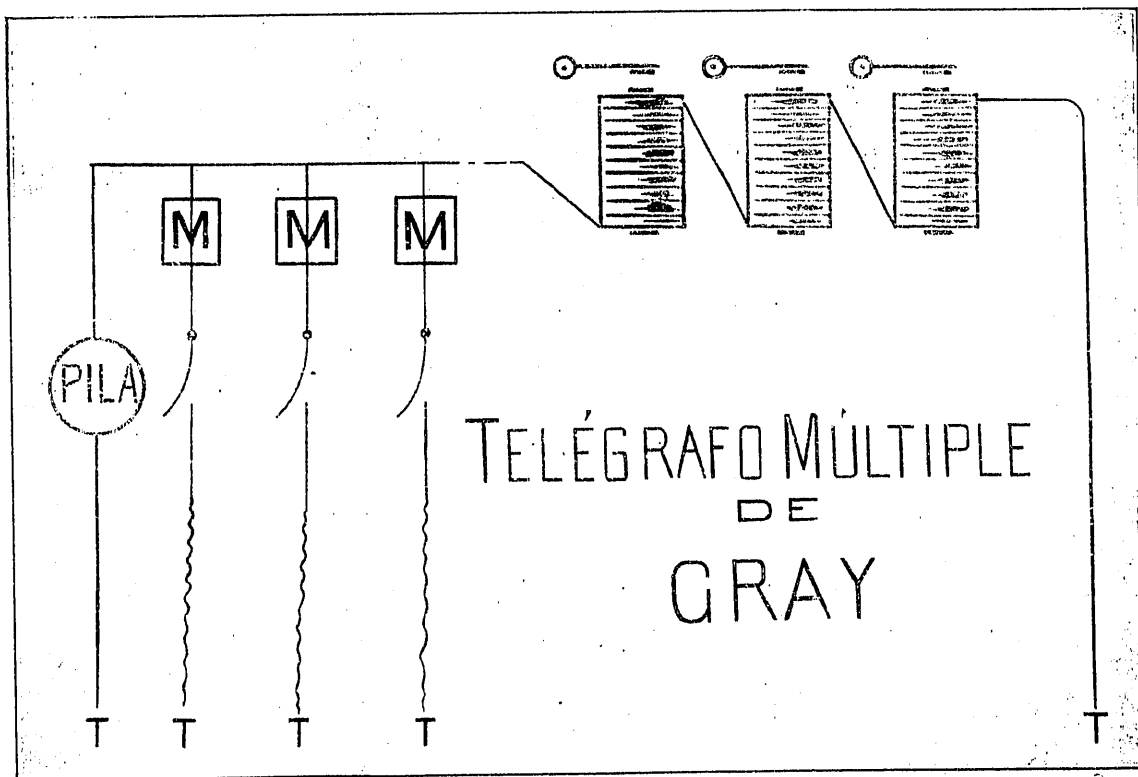


Fig. 9.<sup>a</sup>

crinas ó espongioblastos, que enlazan sólo bipolares de conos las cuales son precisamente las de la visión distinta.

En el telégrafo múltiple de Gray se consigue el objeto indicado de la siguiente manera (fig. 9.<sup>a</sup>): En la estación transmisora hay varias derivaciones ó sangrías de la corriente de línea. Cada una de ellas tiene un vibrador ó lengüeta que produce un cierto número de contactos por segundo, durante los cuales se deriva la corriente. La vibración es distinta para cada lengüeta. Dada la gran resis-

cia de la línea general y la pequeña de esas derivaciones, claro es que cualquiera de ellas produce en la corriente principal una serie de mínimos por segundo, correspondiente á la vibración de la lengüeta, y convierte á la corriente continua constante en una ondulatoria ó pulsatoria al unísono de aquélla. Vibrando todos á la vez viajan en común varias corrientes ondulatorias de distinta fase, y al llegar al receptor pasan por una serie de electroimanes, cuyas lengüetas, que han de atraer, están acordadas al unísono de las de la estación transmisora, y, por tanto, sólo se mueven cuando pasa su corriente ondulatoria respectiva. Los manipuladores Morse están sobre cada derivación ó sangría, y así, cada telegrafista interrumpe una corriente vibratoria distinta para mandar las señales convenientes, actuando tantos á la vez como derivaciones haya.

Apliquemos estas teorías á nuestro caso.

De las bipolares que concurren á una misma ganglionar (fig. 10) (1) cada una está enlazada con un espongiblasto ó amacrina distinto, que es la derivación ó sangría vibratoria de su corriente; la corriente de cada bipolar llega, pues, á la ganglionar con una ondulación distinta, la que le impone su espongiblasto. Un mismo espongiblasto está en contacto á su vez con varias bipolares con tal de que éstas pertenezcan á ganglionar distinta. Es el mismo sistema de unión que se atribuye á las fibras ópticas de los ojos simples sucesivos de los artrópodos.

La primera bipolar de cada ganglionar vibra, por ejemplo, á razón de 1.000 veces por segundo; la segunda 2.000; la tercera 3.000, etc., cuya pauta da cada uno de los cinco espongiblastos pintados en la figura, de los cuales uno se

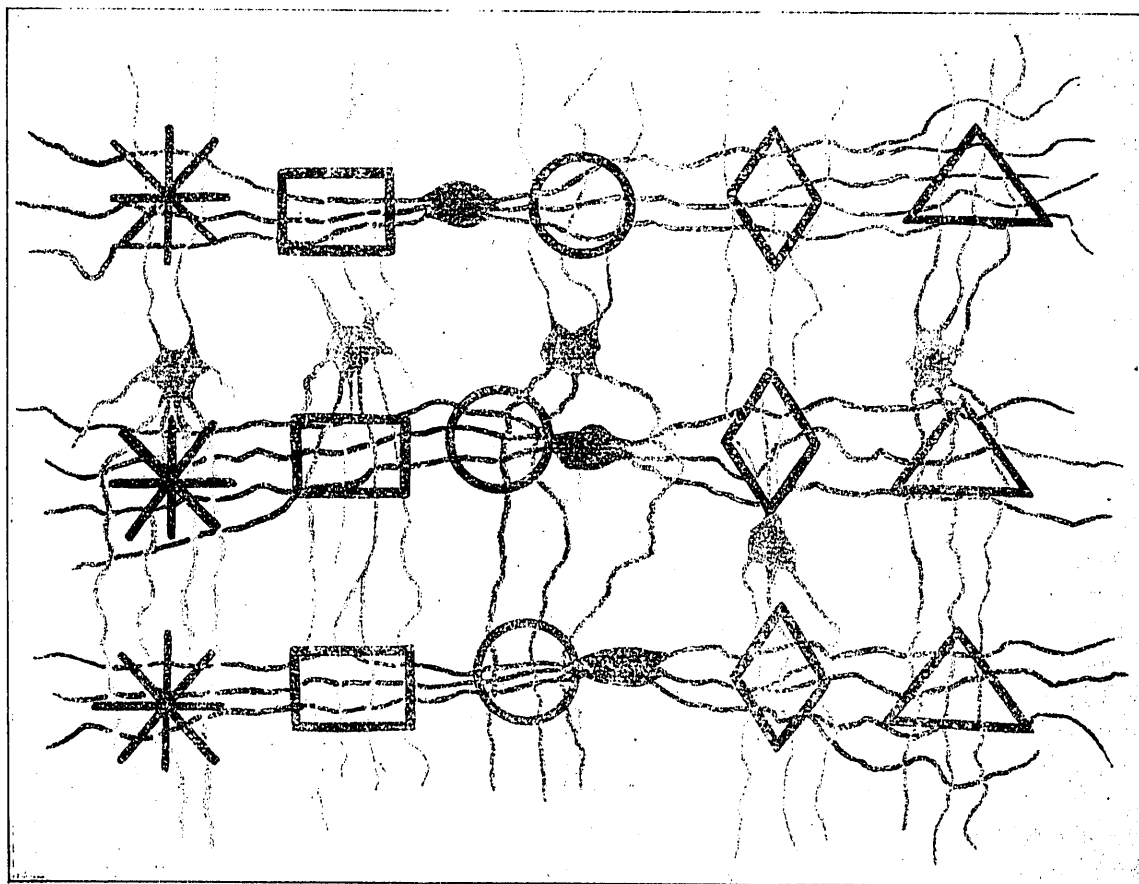


Fig. 10.

En resumen, que sin inconveniente alguno pueden viajar varias corrientes ondulatorias á la vez siendo de distinta fase, y que la ondulación se produce fácilmente estableciendo una derivación de la corriente por una línea de menor resistencia, interrumpida por un vibrador cualquiera.

En un sistema parecido se funda el teléfono múltiple de Maurice Leblanc para sostener á la vez varias conversaciones por un solo hilo. En lugar de vibradores usa alternadores de alta frecuencia y en vez de electroimanes de martillo acordado con aquéllos emplea condensadores-resonadores á dichas frecuencias. Aunque aquí nos basta para ejemplo fijarnos en el transmisor y en la línea, bueno es anticipar que cuando lleguemos á considerar el receptor en el cerebro es este segundo punto de vista el que escogeremos: el de los condensadores-resonadores de Maurice Leblanc.

comunica con todas las bipolares primeras de cada ganglionar; el segundo con las segundas; el tercero con las terceras, etcétera. Con cinco espongiblastos y tres ganglionares se atiende á 15 bipolares, cuyas corrientes individualizadas ó diferenciadas van al cerebro por tres fibras solas del nervio óptico. \*

(Continuará.)

(1) En la figura las tres células horizontales son las ganglionares y las verticales las amacrinas. Las bipolares serían normales al plano de la figura en cada punto de cruce de unas y otras; hemos señalado su proyección con un signo convencional (estrellas, rectángulos, circunferencias, rombos y triángulos); las que van á parar á una misma amacrina las hemos indicado con el mismo signo.