

TEORIA FISICA DE LA VISION

POR

TOMAS BARRAQUER CEREZO, M. D.

Madrid - España

El más rudimentario y elemental de nuestros sentidos es, sin duda, el del tacto, que se debe a la acción directa de un objeto sobre la superficie de nuestro organismo. El gusto es debido a la acción directa de las sustancias disueltas en la saliva. El mecanismo del olfato parece ser semejante al de los anteriores, también, por la acción de las sustancias olorosas incorporadas a la secreción nasal. Pero hay dos sentidos que se impresionan a distancia: son, el oído y la vista. La sensación producida en el oído se debe a perturbaciones del aire u otro medio elástico que consisten en ondas alternativas y longitudinales; tales ondas varían en su longitud, frecuencia y manera de vibrar. La variación de longitud determina el volumen del sonido, la frecuencia determina la agudeza del sonido y la manera de vibrar rige la calidad o timbre del efecto sonoro resultante.

Todo objeto que produce un efecto sonoro lo produce mediante la vibración. Dos ondas sonoras pueden anular sus efectos, produciéndose, entonces, un silencio, a causa de las interferencias. Hay vibraciones transversales, como las de las cuerdas de un violín, y vibraciones longitudinales, como las propias de un muelle contraído. La velocidad de las moléculas es de 450 metros por segundo en el aire ordinario; pero como a veces chocan y no siempre viajan en línea recta, sino oblicuas, su velocidad disminuye, reduciéndose a unos 333 metros por segundo. Por lo tanto, los efectos sonoros invierten más de 3 segundos para recorrer un kilómetro y medio. A través del hierro y el acero la velocidad es 15 veces mayor. Lo que llamamos diapasón depende del número de vibraciones de un objeto por segundo. El límite más bajo de estas vibraciones que percibe el oído humano es de 20 por segundo, y el más alto 20.000. Es posible producir ondas aéreas mediante aparatos eléctricos que cuentan centenares de miles por segundo. Estas vibraciones llamadas supersónicas, son inaudibles. Se cree que en el oído humano se

produce por las ondas audibles alguna forma de vibración que, convertida en corriente nerviosa, marcha al cerebro.

El más útil y maravilloso de los sentidos es el de la vista, que permite a todos los organismos debidamente desarrollados reconocer lo que les rodea. La visión se produce mediante órganos altamente diferenciados que captan, transforman e interpretan las diversas vibraciones de las menudas ondas emitidas por todos los cuerpos materiales dotados de luminosidad. Sin estas vibraciones, o sin los ojos que las transforman en corriente nerviosa, que también va al cerebro, no existiría la sensación visual ni tendrían los seres vivientes ninguna actividad comparable a aquella de que disfruta ahora. El hecho de que la luz se transmite en línea recta fue conocido por los grandes filósofos de la antigüedad, pero, con excepción de Aristóteles y algunos de sus discípulos, todos creían que los rayos luminosos iban desde el ojo al objeto y no a la inversa. Aún se puede leer en algún relato novelesco cómo alguno de los personajes quería con sus ojos atravesar la oscuridad. Lo que aún hoy en día algunas personas no llegan a pensar es que la retina es el único punto del organismo donde la energía radiante de determinada frecuencia y longitud de onda, que llamamos luz, se pone en contacto directo, entra en conflicto con unas células nerviosas iguales a las del cerebro. Allí se convierte en corriente nerviosa.

¿Qué diferencia existe entre una y otra energía?. ¿Por qué mecanismo esa energía radiante se convierte en corriente nerviosa?. Contestar a esta última pregunta es el objeto de mi teoría física de la visión.

Sería muy conveniente empezar por conocer, en su más íntima esencia, en qué consiste la corriente nerviosa y qué es la luz, ya que de esa manera estaríamos más capacitados para poder comprender de qué manera se opera dicho cambio. La corriente nerviosa, en un medio orgánico perfectamente organizado, es la equivalente a la corriente eléctrica en el medio inorgánico. Con ella tiene sus semejanzas, pero también sus diferencias. Ella viaja por los nervios de la misma manera que la otra lo hace por los hilos de cobre. No lo hace instantáneamente, sino que requiere cierto espacio de tiempo y lo emplea también para pasar de las prolongaciones de una célula a las de otra a nivel de las sinapsis. Esta corriente influye sobre la eléctrica y, a su vez, es por ella influida; así que entre una y otra hay diferencias pero también hay semejanzas. En esta interacción está fundado el electroencefalograma. En los primeros tiempos del mismo, Rheinberger y Jasper estudiaron en los gatos los cambios del E.E.G. durante el sueño y al despertar y el proceso de activación cortical producido por la llegada de estímulos aferentes que llegan a la corteza cerebral por dos vías diferentes:

1ª La vía directa o larga de los llamados lemniscos.

2ª La vía más medial que pasa por el tronco cerebral.

Ambas han sido estudiadas por Franch, von Amerongen y Magouin, los cuales han comprobado que la primera vía sin sinapsis es recorrida por los estímulos más rápidamente que la vía medial, donde la corriente nerviosa es demorada por la necesidad de atravesar numerosas sinapsis.

La luz es una forma de la radiación o energía radiante que se propaga en línea recta en forma de ondas electromagnéticas. Cuanto mayor es la longitud de una onda es menor su frecuencia, y viceversa.

Distribuyéndolas por orden de disminución de onda y aumento de frecuencia, las ondas se clasifican en: ondas de radio o hertzianas, infrarrojas o caloríficas, rayos luminosos o visibles, rayos fotográficos o ultravioletas o químicos, rayos X, gamma y cósmicos.

La materia no es uniforme; como se sabe, está formada por minúsculas partículas que son: las moléculas, átomos, protones, electrones y fotones. Cuando la carga eléctrica de la masa central protónica de un átomo se equilibra con la de signo contrario (negativa) de los electrones, que en niveles concéntricos y de dirección alternativamente contraria giran alrededor de aquella, nada ocurre, pero, en caso contrario, sucede un salto de un electrón a otro nivel de energía. Este salto se verifica con absorción o, por el contrario, con proyección de fotones y de cuantas de energía. La vibración electromagnética que así se origina se produce con una onda longitudinal eléctrica, a la que acompaña otra onda magnética transversal, o viceversa. Así, modernamente, un rayo de luz se imagina en forma de un cilindro. Una forma de energía puede transformarse en otra siempre que sea de un orden inferior, pero nunca en sentido contrario. Una clase de energía puede actuar sobre otra y de ello hay múltiples ejemplos. No solo esta interacción es frecuencia de onda, como en los receptores de radio, en que las ondas hertzianas obran sobre las eléctricas, sino que también sobre vibraciones tan diferentes como son las sonoras del aire y la corriente eléctrica, y así se ve que para producir una emisión radiofónica hay que hablar o hacer ruido delante de un micrófono. Este mecanismo es esencial, igual al transmisor del teléfono moderno en el cual la energía mecánica de la onda sonora se convierte en energía eléctrica con características vibratorias semejantes. En el micrófono hay conductores eléctricos pertenecientes a un circuito, a través del cual pasa una corriente, las ondas sonoras, mediante un diafragma sensitivo a las variaciones de presión de las mismas ondas, producen variaciones de resistencia que causan a su vez fluctuaciones de la corriente eléctrica, las cuales se reproducen con iguales características a nivel del sistema receptor, en el cual se origina un proceso igual sólo que a la inversa.

Para terminar este necesario prólogo debemos decir que el hecho de ser la luz al mismo tiempo emisión de fotones que pesan y ejercen presión mecánica y

ser, vibración ondulatoria, fue primitivamente una concepción teórica y motivo de disconformidad entre Huygens y Newton, ya que cada uno de estos sabios era defensor de una de ellas; pero es, además, una realidad que ha podido demostrarse experimentalmente. Cada uno de los dichos sabios veía su verdad, y cada una de ellas era una visión parcial de la realidad.

La opinión de Einstein de que la luz pesa, según los cálculos a él se lo decían (en contra de otros autores, que hubieron de rendirse a la evidencia posteriormente), ha tenido su confirmación objetiva al haberse podido observar que el primer rayo de luz que después de un eclipse atraviesa la zona de atracción de un astro es desviado por la acción de la gravedad.

La luz, además, ejerce una presión mecánica en el sentido en que se propaga. Los fotones, en su vertiginosa marcha (300.000 kilómetros por segundo), van chocando con lo que encuentran en su camino y actuando como minúsculos pero innumerables proyectiles, animados cada uno con una cuant de energía. Son en el éter, el equivalente del viento en el aire.

La sorprendente órbita de los cometas es una prueba convincente de la presión mecánica de luz, ya que de las más lejanas profundidades del espacio esa órbita los lleva a las proximidades (relativas) del sol, para describir alrededor del mismo un medio círculo, alejándose de nuevo a las lejanías del espacio de donde vinieron, siendo lo notable que en cuanto van acercándose al sol llevan la cola detrás y, en cambio, al alejarse la llevan delante. La razón de esto es que la cola está formada por la misma materia que el propio cometa, ahora en un elevado grado de rarefacción, de tal manera que para el mismo número de moléculas, es mucho mayor la superficie en que actúa la presión mecánica de la luz.

Parece que Maxwell y Bartoli fueron los primeros en hacer notar la presión mecánica de la luz, pero el primer dispositivo que se debe para su demostración fue el radiómetro de Crookes, que algunos dicen de Lord Kelvin. Consiste en un pequeño molinete formado por cuatro aletas unidas a un eje que se apoya en una punta fina alrededor de la cual puede girar, estando el conjunto en el interior de un globo de cristal, en el que se puede hacer el vacío. Las aletas, que son metálicas, están brillantes por un lado y ennegrecidas por el opuesto. Si una vez que a la luz se hace el vacío en el interior del globo, se observa que el molinete empieza a girar. La velocidad de rotación del molinete aumenta a medida que disminuye la presión interior, o sea, que es mayor el vacío. Pero esto no se cumple indefinidamente, sino que, al llegar a un límite, el enrarecimiento del aire alcanza al máximo para después ir disminuyendo.

Se ha atribuido el movimiento del radiómetro a la presión mecánica de la luz, y si no en todo, en gran parte, esa debe ser la explicación, ha habido quien al ver que la velocidad disminuía al llegar a cierto grado del vacío ha pensado que

se debía al calor, y otros, en vista de los cambios que ese movimiento experimental al sumergirlo en el agua han ideado otras explicaciones que, por su complejidad no son de este lugar, pero que coinciden en querer quitar importancia a la presión de la luz.

Sin embargo, hoy día, la presión de la luz es admitida por todos, y ella, que es un punto muy importante para mi teoría física de la visión, está fuera de toda duda. La Enciclopedia Francesa de Oftalmología le asigna el valor de una dyna, pues esto ha sido calculado, y aún hay más, ya que experimentalmente fue demostrada y medida por Nichols y Hull en EE. UU., y por Lebedef, en Rusia, quienes eliminaron todas las posibles causas de error que pudieran atribuirse al radiómetro de Crookes o de Lord Kelvin.

Recientemente ha venido a colocarse en la actualidad mi teoría física de la visión y la importancia que doy en ella a la presión de la luz a causa de los desplazamientos del satélite artificial americano "ECO", desplazamiento que ha llegado a ser de 5.6 kilómetros diarios y que han hecho cambiar la forma de la órbita de dicho satélite, la cual de ser primitivamente circular, llegó a hacerse elíptica. Datos que los científicos de la N.A.S.A. me han eviado desde América.

También por intermedio del Consejo de Investigaciones Científicas, he escrito al Secretario de la Academia de Ciencias de Moscú, de donde me han enviado los datos antes citados acerca de los trabajos de LEBEDEF, sobre la presión de la luz que ha medido sobre los cuerpos sólidos y los gases así como ha estudiado su influencia en la distancia entre los astros.

Podrá parecer la presión mecánica de la luz demasiado ligera para hacerse sentir por las células de la retina, pero hay, que tener presente la extraordinaria sensibilidad de las células nerviosas y que en este caso no se trata de otra cosa que de células semejantes a las mismas células de la corteza cerebral, muchísimo más delicadas que las de ningún aparato sensorial, y una presión capaz de mover no ya el radiómetro, sino las aspas de platino, semejantes a la hélice de un avión, del aparato de Lebedef, no hay razón alguna que impida suponer que sea percibida por dichas células retinianas. Además hay que tener presente que tanto el radiómetro de Crookes o de Lord Kelvin como el de Lebedef como la cola de los cometas, son accionados por la presión de la luz de un modo doblemente sencillo y como se presenta en la naturaleza: sin aparato alguno que la concentre. En el ojo, por el contrario, los rayos luminosos llegan a la retina después de ser concentrados por el aparato dióptrico que forman el cristalino y la córnea, es decir, después de sufrir una poderosa concentración que multiplica su acción.

Como hemos demostrado, la luz es emisión de fotones, y ahora expondremos sucintamente algunas pruebas de que es al mismo tiempo vibración, es decir, movimiento ondulatorio. En efecto: estas pruebas son evidentes, ya que es clásica

en Óptica Física la hipótesis de que la luz es el resultado de un movimiento vibratorio análogo al que produce el sonido, y definido matemáticamente por las fórmulas del movimiento pendular o vibratorio. Ahora bien, en Acústica se estudia que el carácter principal de ese movimiento es el de las interferencias, caracterizadas por la combinación de ondas que dan lugar a franjas de máximo movimiento, que son sonoras, alternando con otras franjas de reposo que son silenciosas. Si el fenómeno correspondiente tiene lugar, en la Óptica se demuestra la realidad de la teoría ondulatoria de la luz y aquí las interferencias darían franjas luminosas separadas por franjas oscuras: luz, más luz igual a oscuridad, y ello fue demostrado por Fresnel con su clásico experimento de los espejos, en el cual se valía de dos espejos planos ligeramente inclinados que reflejaban un único punto luminoso monocromático, de color rojo. Si un haz luminoso (el de un espejo) caía sobre una pantalla, la iluminación era uniforme, pero caía la luz de los dos espejos el efecto era (gracias a la ligera inclinación de los mismos) una serie de bandas verticales alternativamente oscuras e iluminadas. Con esto quedó demostrada la existencia de un movimiento vibratorio y de un medio en el que se propaga, y así como para el sonido el medio era el aire, para la luz es el éter. Toda energía radiante es vibración del éter, así que nada hay con realidad objetiva que sea luz, nada que sea calor, que sea rayos X, etc., sólo hay vibraciones del éter de diferente frecuencia y diferente longitud compatible con el tamaño de las células de nuestra retina y siempre que el choque de los fotones, por su poca frecuencia, no altere la integridad de las mismas células. Tanto por arriba como por abajo del espectro lumínico hay las ondas calóricas y las químicas que siguen las mismas leyes ópticas (reflexión, refracción, etc.), excepto cuando las vibraciones por su excesiva rapidez, no obedecen a dichas leyes.

Otra prueba muy demostrativa de la vibración y de la interferencia de las ondas luminosas es la fotografía en color por el método de Lippmann. Para ella se requieren dos condiciones:

1³ Que la capa sensible sea continua, homogénea y no formada, como en la fotografía corriente, por pequeños granos metálicos.

2³ Es preciso que esta capa sensible esté adosada a un espejo que refleje la luz.

La placa es después tratada por los procedimientos ordinarios; o sea, ácido pirogálico, hiposulfito sódico, y se van viendo aparecer los colores del espectro en la placa, resultando inalterables. El color es debido a una acción puramente física y el depósito de plata se debe a la acción combinada de la luz directa y la luz reflejada por el espejo y ha tomado la forma de laminillas que materializan por un depósito de plata los puntos de máxima vibración, pues en ellos es donde se han depositado dichas laminillas, ya que están estratificadas, separándolas en cada punto una distancia igual a la mitad de la longitud de onda del color que la redujo.

Queda, después de lo dicho, bien patente que la luz es emisión de fotones que ejercen una presión mecánica, que pesan y que al mismo tiempo esta forma de la energía radiante obra, como todas, en forma de una ondulación. Una vibración con su longitud de onda y frecuencia característica. El prisma y la aberración cromática la dividen, separando las diferentes longitudes, o sea, los distintos colores de los siete por todo el mundo conocidos: pero quedan, por un lado, los infrarrojos, y, por otro, los ultravioletas: aquellos llamados también calóricos, y éstos, químicos. Ahora bien, ¿sería posible que estas dos maneras de actuar de la luz, es decir, la emisión de fotones con su presión mecánica y su peso y su ondulación no actuaran sobre la retina? ¿De qué manera podría esta, tan delicada membrana, permanecer insensible a estas actuaciones de la luz? Sinceramente, nosotros creemos que de ninguna manera, y por ello nos hemos dedicados a buscar en la misma retina las huellas que la luz, como tal presión y como tal ondulación, haya podido dejar impresas.

A lo largo de su perfeccionamiento recorriendo la esfera animal la retina ha llegado desde su primer estado como órgano rudimentario en los primeros peldaños de su evolución filogénica, cuando solo la representaban unas pocas células de la superficie de organismo animal, en las cuales el choque simple y directo de los fotones producía la sensación visual pasando por ejemplares tan variados como los que todos conocéis hasta llegar al estado actual del ojo humano, en que la luz concentrada por el aparato dióptrico (y, por lo tanto, su acción de presión y vibración mucho más concentrado) reproduce una imagen del mundo exterior, como se reproduce un paisaje en la placa de una máquina fotográfica para ser recibidas por las células visuales dispuestas a modo de un teclado, que van a recibir, analizándola finísimamente, esa misma imagen, hay una distancia tan grande que parece que se trata de órganos con funciones diversas, pero, no obstante, hay que reconocer que en grados diversos han de llenar un fin semejante y ello por un procedimiento que en lo fundamental ha de ser también semejante.

Cambios morfológicos observados en la retina por la acción de la luz

1º—*Emigración del pigmento.* — Sabida es la estrecha relación de las células de la capa pigmentaria con los conos y bastones, ya que cada una de las primeras, es decir, de las células pigmentarias, forma una especie de capacete para recibir a una célula visual.

Ya en 1878 Kune, y luego Ditley, en 1907, demostraron la diferente adhesión de la capa pigmentaria con el resto de la retina en un ambiente oscuro o iluminado. Efectivamente, enucleado un globo ocular a una rana sacrificada a la luz y a otra sacrificada a oscuras, si a continuación se abren los ojos, seccionándolos por el ecuador, se comprueba que la retina iluminada adhiere, mientras que la otra se separa fácilmente.

Los experimentos de Angulucci Kune, van Genderen y otros, demuestran que los granos de pigmento de las células de este nombre gozan de la propiedad singular de moverse y ocupar diferentes posiciones según estén expuestos a la luz o se encuentren en la oscuridad; bajo la acción de la luz avanzan entre los conos y los bastones y descienden hasta la limitante externa; por el contrario, bajo la influencia de la oscuridad se retiran de las prolongaciones celulares al cuerpo de la misma célula y ya no recubren más que el extremo externo de las mismas. En cuanto a los bastones, aún quedan algo más retirados.

Ahora bien: ¿qué ocurre cuando hay iluminación? Entonces los granos de pigmento emigran a las prolongaciones celulares y delante del bastón apenas queda pigmento; solo lo hay a los lados formando a cada bastón un estuche aislador; en cambio, delante del cono sí queda pigmento y, por lo tanto, a nivel de la punta del mismo, la luz que atraviesa dicha célula visual de delante atrás es reflejada como en un espejo y lo vuelve a atravesar en sentido inverso, es decir, de atrás adelante. De esta manera, la luz, en el bastón se conduce como en la fotografía corriente, pero en el cono lo hace como en la fotografía en colores de Lippmann, ya que ese autor, como hemos dicho, ponía un espejo detrás de la placa fotográfica y la naturaleza pone detrás del cono el espejo de su célula pigmentaria correspondiente. El bastón se ha introducido dentro del capaxete que le forma su célula pigmentaria correspondiente y eso ha hecho parecer a algunos autores que esa célula visual se alarga en la luz, cuando, según hemos comprobado, todas las células visuales se acortan y se ensanchan por la acción de la iluminación.

2^o—*Fenómeno de van Genderen Strot*. — Este fenómeno es conocido desde hace ya tiempo, ya que van Genderen Strot lo describió en 1887, y consiste en el acortamiento de los elementos celulares de la retina por la acción de la iluminación. Este fenómeno fue especialmente descrito con referencia a los conos, pero la cromática de los núcleos de las células visuales (granos externos) parece más abundante en las retinas oscurecidas, porque en las iluminadas, al retraerse, parece menos abundante. Hay que insistir en que cuando los atraviesa, el núcleo de las células bipolares sufre cambios semejantes, antes del paso de la luz son redondos, la misma luz los reduce en la dirección en que los atraviesa. El núcleo de las células bipolares sufre cambios semejantes y lo mismo ocurre, aunque tal vez en menor grado, a la cromatina de las células ganglionares. Estos cambios han sido comprobados por observadores de diferentes épocas, como Pergens, en 1890; Mann, en 1890; Bisch Hirschfeld, en 1900 y 1906. Según Denissenko y Angelucci, el protoplasma abundante de las células ganglionares se reduce por la acción de la luz, resultando mayores los espacios intercelulares. Parece que la diferente calidad no influye de diferente manera sobre este fenómeno, aunque según Engelman, sean más activas las radiaciones cortas del espectro, cosa lógicamente explicable, ya que cuanto más corta es la longitud de onda más rápida es la vibra-

ción y, por lo tanto, es más frecuente el bombardeo de los fotones. Según Hertel en la rana y en algunos peces, los rayos ultravioletas de 330 y de 226 milicrons serían activos, así como por el lado infrarrojo los de 830 también serían activos. En vista de ello, dice Magitot que, considerando la contracción en relación estrecha con el acto de la visión sería la sensación de estos animales más extensa que la nuestra, limitada a las longitudes de onda comprendidas entre límites más estrechos.

Hertzog, en 1905, comprobó que este fenómeno se produce hasta en un animal con los dos nervios ópticos seccionados y de ello deduce su independencia del acto visual. Verdaderamente el animal con los dos nervios ópticos seccionados, es evidente que no ve, pero que el fenómeno del cambio de forma de las células se produzca, aún en estas circunstancias, significa que la acción de la luz es directa y, por mecanismo físico, independiente de toda acción refleja por mecanismo nervioso.

En mi teoría física de la visión he relacionado los cambios físicos dichos con la presión mecánica de la luz y creo que es muy lógico pensar de esta manera. En efecto, si la presión de la luz es capaz de mover las aspas del molino de metal de Crookes o de Lord Kelvin, sobre todo (ya que en él se evitan las causas de error del anterior) si es capaz de mover el dispositivo semejante a la hélice de un avión de Lebedef; si la luz ejerce una presión sobre la cola del cometa; si, además, pesa y todo ello lo hace sin necesidad de ningún dispositivo que concentre los rayos luminosos, ¿por qué no vamos a admitir que una vez concentrada por el aparato dióptrico que en el ojo forman la córnea y el cristalino sea capaz de ejercer una acción deformadora sobre las células ultrasensibles de la retina? Modernamente, mi tesis adquiere mucha mayor verosimilitud al haberse comprobado los cambios que esa presión mecánica ha impreso en la órbita del satélite americano "ECO" según anteriormente hemos puesto de relieve.

Es evidente que la acción de la presión mecánica de la luz se puede invocar como causante de los cambios físicos de la retina, ya que esta membrana, en su totalidad, sufre un gran adelgazamiento cuando se la ilumina, las células ganglionares se reducen y precisamente lo hacen en el sentido en que la luz las atraviesa, es decir, de delante atrás y, como consecuencia de ello, los espacios intercelulares se ensanchan. Los núcleos de estas células y los de las células bipolares sufren cambios semejantes y el pigmento de las células de este nombre es rechazado a las prolongaciones celulares a causa de que la célula visual correspondiente se ha introducido dentro del cuerpo de la misma célula pigmentaria.

Conocidas son de todos vosotros las teorías, numerosas, que se han propuesto para explicar el mecanismo de la visión, como la de Maluquer y otras, entre las cuales se destaca el magnífico esfuerzo que representa el trabajo leído en el Con-

greso de Canarias por el doctor Marín Amat. Mi propósito al idear mi teoría, que llamo física, fue el de aclarar únicamente el proceso seguido por la naturaleza para transformar, a nivel de la retina, la energía luminosa en corriente nerviosa, ya que pienso que esto es lo más interesante y el punto primero y principal después del cual se aclara más fácilmente el papel representado por las células del C.G.E., el del T.C.A. y el de la corteza cerebral.

Es de notar el defecto manifiesto en que incurren la mayoría de las teorías existentes, ya que se han preocupado mucho de explicar el proceso de la visión coloreada y muy poco o nada de la visión luminosa. Es bien evidente que visión de la luz, como tal luz, es el fenómeno básico y la visión de la forma, del movimiento y del color son secundarias. Esta consideración es la que me ha obligado a estudiar primeramente la sensación luminosa. A propósito de esto es interesante recordar el fenómeno conocido con el nombre de intervalo fotocromático o "scax" del espacio de tiempo que transcurre entre el umbral incoloro (cuando comienza a percibirse algo) y el umbral cualitativo (cuando se puede apreciar el tono de esa sensación que al principio fue acromática) ya que una radiación monocromática, cuando actúa en zona extrafoveal, con una luminancia muy baja, se percibe primero como tonalidad indefinida (un gris o un blanco sucio), percibiéndose el color de la radiación cuando va aumentando en luminosidad.

El hallazgo de la púrpura visual, rojo de Boll o de la retina y su reducción por la luz, ha sido causa de suponer que el substratum del fenómeno de la visión era de orden químico, en vez de reducir el papel de la púrpura al de simple sensibilizador. Esto se ha pensado así con la misma falta de lógica con que se podría pensar que a nivel de las sinapsis todo el trabajo era realizado por la acetilcolina.

El descubrimiento de los fenómenos entópticos y la visión en virtud de los mismos de la circulación de la sangre en los capilares retinianos, ha sido causa de pensar que solo era sensible, entre todas las capas de la retina, la de los conos y la de los bastones, ya que estos elementos celulares se encuentran por detrás de aquellos capilares. Creemos excesiva esa deducción y que, en realidad, si bien la visión más detallada corre a cargo de las dichas células, llamadas por eso células visuales, hay otros elementos sensibles en la retina como las mismas células ganglionares.

Pruebas y argumentos en favor de la teoría física de la visión

1º—La rapidez de las sensaciones luminosas y cromáticas.

Sabido es que la sensación luminosa es la fundamental; luego vienen la apreciación del color, de la forma del movimiento. Sabido es también que la sensación luminosa que es la fundamental, es la más rápidamente percibida y por todo

ello resulta curiosamente inexplicable que, habiendo muchas teorías que pretenden explicar la percepción de los colores, muy pocos autores se han preocupado de la visión luminosa. La rapidez de estas sensaciones es tal que ninguna reacción química las podría explicar, máxime cuando, al fin y al cabo, los reactivos son proporcionados por la circulación sanguínea y la nutrición celular. El mismo Wald, campeón moderno entre los defensores de las teorías químicas, es quien más ha estudiado la reducción y regeneración de los pigmentos retinianos. Dice en un trabajo leído en el Instituto Daza de Valdés, en 1933, y titulado: "The chemistry of visual excitation": "El espacio de tiempo que emplean en su adaptación a la oscuridad las células visuales es, es por su excesiva duración, incompatible con la rapidez de las sensaciones visuales. En el hombre, los conos necesitan más de 5 minutos para conseguir esa adaptación y los bastones requieren una hora. La síntesis de la iodopsina y de la rodopsina, en solución, requieren el mismo tiempo. En el pollo, a la temperatura de la habitación, la síntesis de la iodopsina requiere 3.5 minutos y la de rodopsina una hora, y sabido es que siempre se ha considerado a los bastones como los órganos de la visión crepuscular y a la púrpura o rodopsina como sensibilizador indispensable."

Este mismo autor, que tanto ha estudiado el pigmento de los conos o iodopsina y el de los bastones o rodopsina, y considera a estas sustancias como deformadas cada una por un carotenoide coloreado, unido a una proteína específica, acaba por decir: "Si hasta ahora no se sabe casi nada del mecanismo de la visión de los colores en los mamíferos, ello no es por falta o defecto de las posibilidades químicas"; lo cual es confesar que, a pesar de esta todo lo de la química de los pigmentos visuales, su reducción y regeneración conocido, ello no explica el mecanismo de la visión. Un proceso físico, en cambio, puede tener, y de hecho tiene, una rapidez que no solo iguala, sino que puede rebasar la de la visión. En efecto, el cine no sería posible, si la sucesión de las fotografías que forman una película (mecánica, o sea, física), no fuera más rápida que la visión.

2º—El fenómeno de Stiles Grawford.

En 1933, estos autores descubrieron el interesante fenómeno de que de dos finos rayos luminosos que inciden sobre la retina —uno perpendicular a su superficie y oblicuo el otro— para ser los dos percibidos de la misma manera, necesita, el segundo, es decir, el oblicuo, cinco veces más intensidad. Es evidente que la explicación consiste en que en el primer caso los fotones ejercen sobre la célula visual una presión normal, y en el segundo caso una presión oblicua. Por medios químicos, este fenómeno sería inexplicable, ya que una vez puesto el rayo luminoso en contacto con la sustancia, la reacción química se produciría inmediatamente. En un ojo con la pupila muy dilatada es donde mejor se puede realizar este fenómeno, ya que es más evidente cuanto mayor es la separación existente entre los dos rayos luminosos: el central y el periférico.

3º—El fenómeno de la discriminación.

Se llama así a la visión individualizada de dos puntos en el espacio. Así como en la piel para percibir como objetos distintos las dos puntas de un compás con el cual se nos presiona es preciso que esas dos puntas tengan determinadas separaciones o, de lo contrario, nos impresionan como una sola, así en el ojo, para distinguir dos puntos en el espacio necesita que entre los dos haya también determinada distancia. Se dice que esa distancia ha de ser de un minuto, aunque hay personas que solo necesitan 60 segundos y aún menos, y ello se debe a que entre dos células visuales, percibiendo cada una un punto, es necesaria la existencia de una célula intermedia.

Ahora bien; si suponemos una célula con las sustancias que la empapan reducida y otra sumamente próxima con las sustancias sin reducir, no nos podremos explicar que al poco tiempo no se produzca una mezcla de dichas sustancias y una borrosidad inevitable de la imagen. Por la misma razón, los bordes de todas las imágenes carecerían de nitidez a causa de la mezcla que se produciría a ese nivel de las sustancias reducidas del interior de la imagen con las no reducidas del exterior.

Han sido muchas las discusiones acerca de la localización de los pigmentos y su posible difusión, pero es indudable que se produce la púrpura a nivel de las células pigmentarias y que empapa el artículo externo de los bastones pero no de los conos. Si su papel fuera tan importante en la visión coloreada sería imprescindible a nivel de estas últimas células, que son precisamente el órgano de la visión coloreada y que ocupan la mácula, que es la zona más sensible de la retina.

Se han pretendido salvar los obstáculos que la difusión de la púrpura representa, suponiendo que la dicha difusión sería mayor (o única), dentro del mismo cuerpo del bastón, sin atravesar membranas celulares, cosa imposible de sostener, ya que, como acabamos de decir, al mismo bastón le viene de fuera, pues él no la produce, y, por lo tanto, ha de atravesar la membrana de estas células.

Se ha supuesto, contra toda lógica, que entre el segmento externo y el interno de dicha célula existía una impermeabilidad para los carotenoides, pero la reacción al cloruro de platino demuestra su presencia fuera del artículo externo de los carotenoides y también en las fibras de los bastones. Hasta en los bastones sinápticos, la presencia de dichos carotenoides se manifiesta bajo la forma de una mancha oscura producida por la reacción del yodo y del ácido ósmico.

4ª—Las experiencias de Land.

Landa colocó dos proyectores y delante de cada uno una hendidura con filtros amarillos diferentes, proyectando dos dispositivos en blanco y negro represen-

tando la misma escena. Los rayos amarillos pasan a través de estas fotografías y al superponerse sobre la pantalla, contra todas las predicciones no aparecen en amarillo, sino que, con dramática sorpresa, vemos que la imagen aparece proyectada con todos los colores, cada uno en el sitio correspondiente.

Hizo otra experiencia también con dos proyectores: uno, con filtro rojo, y otro, sin ningún filtro. De acuerdo con la teoría clásica, la combinación de rojo y blanco no puede dar a la proyección más tonalidad que un rosa más o menos intenso, y, en efecto, si no hay fotografía en los proyectores parecerá la pantalla coloreada de rosa. Se colocan los dispositivos en blanco y negro en los proyectores e instantáneamente aparece la imagen con sus vivos colores; si se quita el filtro rojo el color desaparece y vemos la imagen en blanco y negro; ponemos de nuevo el filtro rojo y reaparece todo el colorido.

Estas experiencias echan por tierra todas las teorías que suponen la existencia de diferentes sustancias para los colores fundamentales (sean dos, tres o cuatro) y también las que admiten en la retina dos, tres o cuatro clases de elementos receptores, cada uno de la sensación de uno de los colores llamados fundamentales.

Al trabajar con un color determinado no lo hacemos con una única longitud de onda, sino con una faja de longitudes, es decir, todas las longitudes que se encuentran entre los colores que limitan al nuestro por un lado y por otro, y el ojo hace su composición con diferentes longitudes, a cada una de las cuales da, en virtud de un proceso tanto físico como psíquico, un valor que no es fijo ni absoluto en sí mismo, sino en relación con los demás.

Recientemente (en junio de este año), he obtenido una prueba decisiva de que el funcionamiento de la retina es físico estudiando el encefalograma de enfermos con desprendimiento de retina. Sabido es que el cerebro en reposo produce las ondas que los encefalografistas llaman onda Alfa; sabido es que las ondas son bloqueadas y desaparecen al abrir los ojos, el problema era saber qué ocurría al iluminar una retina desprendida, ya que como es sabido la retina en estas condiciones no tiene ninguna sustancia, ya que estas se producen a nivel de la capa pigmentaria y ésta no sigue al resto de la retina cuando se desprende. Yo pensé que si la retina desprendida, es decir, sin sustancia alguna, al ser iluminada bloqueaba las ondas Alfa, era una prueba del funcionamiento físico de la retina y con la natural ansiedad hizo esta prueba en mi presencia y con mi ayuda el doctor Oliveros, en el servicio de electroencefalografía del Hospital Central de la Cruz Roja y el resultado fue completamente positivo como se puede ver las gráficas adjuntas (Fig. 1). Incluyo también una fotocopia del documento firmado por el doctor Oliveros en que da fé de la realidad de este experimento.

Son sumamente interesantes los cambios que la acción de la luz ocasiona en las células pigmentarias (Fig. 3). Como es sabido, estas células forman como

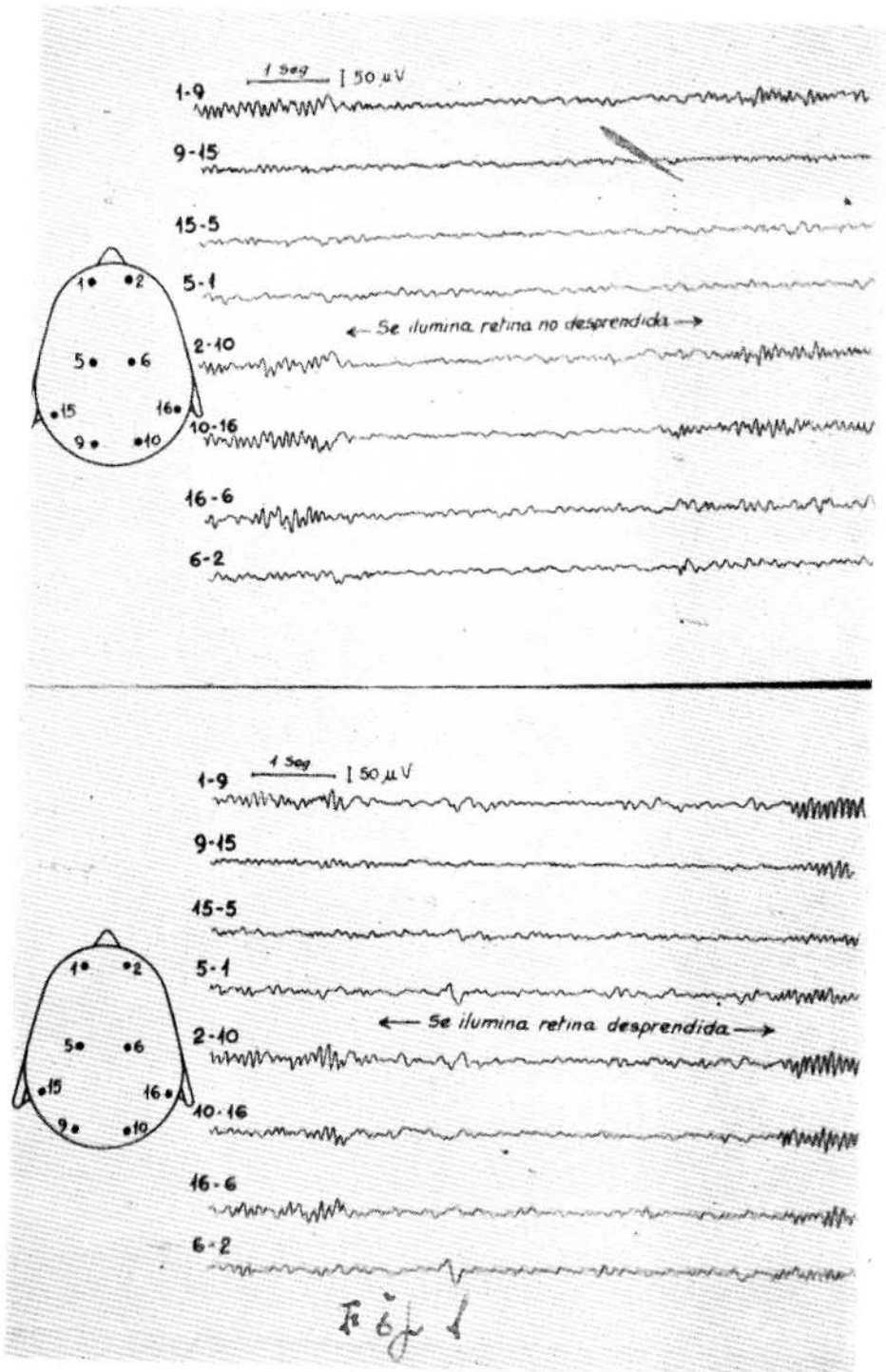


Fig. 1

una especie de capacete a cada una de las células visuales (conos y bastones) y envían entre ellas prolongaciones protoplásmicas que les sirven de aisladores, estas prolongaciones para cumplir su función aisladora y evitar el deslumbramiento, y también para reflejar la luz, están ocupadas por granulaciones pigmentarias de melanina, estas granulaciones también se encuentran en el cuerpo celular rodeando al núcleo y ofrecen aquí la particularidad (que las diferencia de las existentes en otros órganos) de aparecer cristalizadas (sin duda con objeto de reflejar mejor la luz). El bastón, como es más largo penetra más en el cuerpo de la célula pigmentaria correspondiente que el cono es más corto. Después de re-

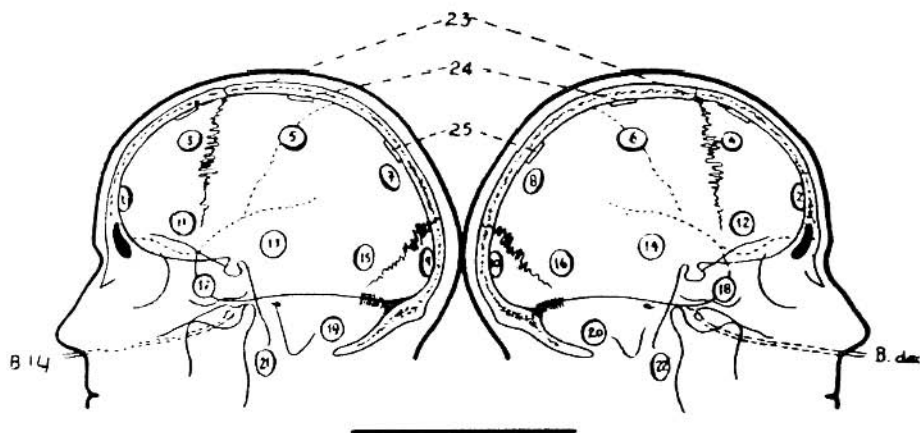


Fig. 2. La estimulación verificada iluminando la retina desprendida, produce una reacción de bloqueo del alfa exactamente igual que cuando se ilumina la zona de retina no desprendida.

cibir una impresión luminosa las granulaciones pigmentarias son rechazadas a las prolongaciones protoplásmicas, dejando el cuerpo celular libre y casi solo ocupado por el núcleo, cosa más evidente en las células pigmentarias para bastón, ya que éste, como acabamos de indicar, es más largo que el cono. ¿Cuál puede ser la causa de esta emigración del pigmento? A nuestro modo de ver, es, también, efecto de la presión mecánica de la luz que, transmitida por conos y bastones, los hace ahondar en el capacete que les forma la célula pigmentaria correspondiente, y esa presión es la que rechaza las granulaciones del pigmento del cuerpo celular a las prolongaciones. Esta emigración resulta, como es lógico suponer, mayor en las células pigmentarias para bastón que en las correspondientes a los conos, ya que éstos son más cortos, y así, por delante del extremo distal del bastón, no queda, apenas, pigmento, mientras, en cambio, queda bastante por delante de los conos. Parece a primera vista, que la importancia de este hecho no ha de ser grande y, sin embargo, es verdaderamente del cono, es a nivel del mismo, mucho

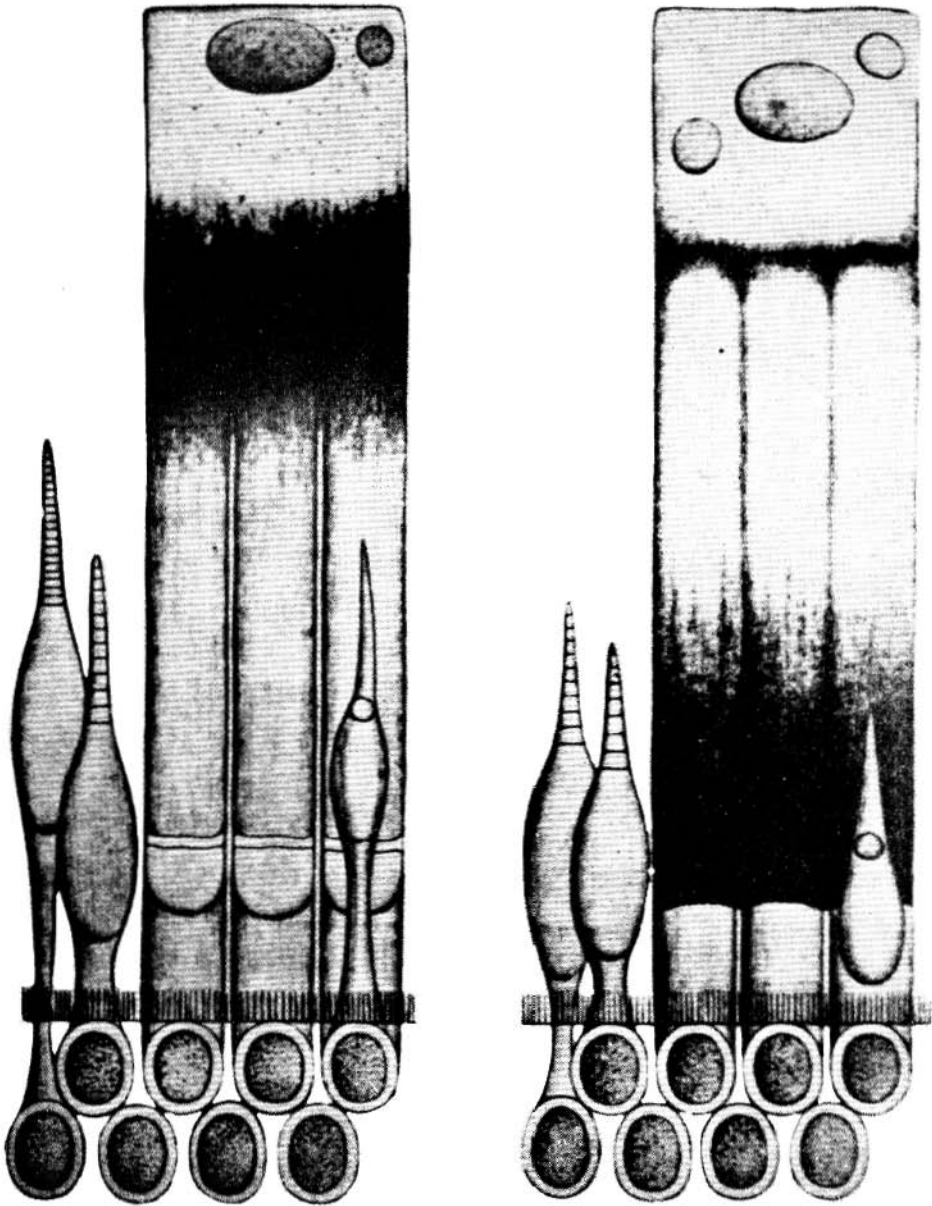


Fig. 3. En estos dibujos se puede observar la disposición de las células visuales y pigmentarias en la obscuridad y a la acción de la luz. Como se ve, en la obscuridad (dibujo de la izquierda), el pigmento se sitúa hacia el cuerpo de su célula pigmentaria correspondiente, alrededor del extremo de los bastones y muy separado

más intensa la reflexión de la luz, que así, después de atravesar el cono de delante atrás vuelve a atravesarlo de atrás adelante produciéndose, entonces, lo que en Física se llama interferencias, con sus puntos de mínima y máxima vibración, o sean los llamados nodos y vientras? ¿Qué resultado puede tener este fenómeno y la diferente manera de producirse en los conos y los bastones? Poco se han

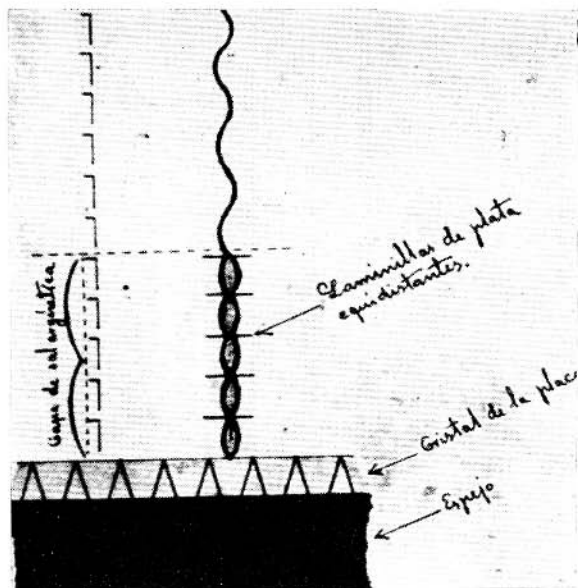


Fig. 4 Esquema gráfico de la fotografía en colores de Lippmann. La plata, reducida en laminillas microscópicas equidistantes, materializa las interferencias luminosas. Fenómeno idéntico a la disposición de los discos en los conos.

fijado en un punto tan importante los investigadores y solo Rahelmañ habló de ello pero de una manera vaga. Nadie sin embargo, se ha fijado en la diferente manera de conducirse la luz y producirse su reflexión en las células pigmentarias para bastón (órgano de la visión coloreada). Ahora bien, esta diferencia tiene una importancia verdaderamente extraordinaria, ya que es la misma diferencia que existe entre la fotografía ordinaria y la fotografía en colores; en la primera solo se reduce la plata en un polvillo amorfo ya que solo intervienen en ella la luz y la sal de

del extremo de los conos. En cambio a la luz (dibujo de la derecha), el pigmento deja libre el cuerpo celular y el extremo de los bastones y desciende hasta quedar precisamente delante del extremo de los conos, para los cuales ha de representar el papel que representa el espejo en la fotografía en colores de Lippmann, produciendo, con la reflexión, las interferencias vibratorias, y con ellas la disposición de la plata en laminillas equidistantes y separadas en cada punto por la mitad de la longitud de onda del color reductor, que es lo mismo que observamos ha dispuesto la Naturaleza en los conos perceptores seguramente del color, cuya semilongitud corresponde con la separación de tales discos.

plata de la placa, mientras que en la fotografía en colores suceden cosas de muy diferente manera (hay que tener presente que al hablar de la fotografía en colores nos referimos, únicamente, a la sola que merece este nombre sea a la de Lippmann y no a las demás que pueden llamarse fotografías coloreadas). En la fotografía en colores decimos, hay, además de la placa, un espejo, que primitivamente suplía Lippmann con una cubeta de mercurio, colocada detrás de la placa, y en ese espejo se reflejaba la luz y, después de atravesar la sal argéntica de delante atrás, volvía a atravesarla de atrás adelante, lo cual hacía, que a su nivel tuviese lugar la formación de las interferencias. Ahora bien, examinadas microscópicamente tales placas se vió que la plata en ellas, lejos de reducirse en polvillo amorfo, lo hacía en forma de laminillas, y que estas laminillas estaban en cada sitio (Fig. 4) separadas por una distancia igual a la mitad de la longitud de onda del color que las redujo. Por eso, al mirarlas al trasluz (no es posible hacer positivas de ellas) solo pasaba por cada punto el color cuya longitud de onda quedó, por así decir, materializado en el espesor de la placa.

Si dicho lo que antecede nos fijamos en el artículo externo de las células visuales veremos que está formado por una sucesión, por un apilamiento de discos, y que la altura de dichos discos es propia y característica de cada célula visual. Y lo más sorprendente es que la altura de tales discos oscila entre límites iguales siempre a un múltiplo de la longitud de onda de un color, de manera que si en la placa de la fotografía en colores solo pasa en cada punto el color de la longitud que a su nivel redujo la plata hay que admitir que por cada célula visual solo, de la misma manera, pasa el color que está grabado en su estructura. O bien cada célula es capaz de percibir las todas y solo nos muestra la última que al atravesarla dejó allí marcada su longitud de onda, haciéndola vibrar al mismo tiempo que pasaba a través de ella. De cualquier manera ello sea nos parece imposible no encontrar en este hecho una razón de causa a efecto.