

§ 24.

Fenómenos íntimos de la excitacion normal de la retina. — Para comprender estos fenomenos, debemos estudiar dos elementos : 1.º el agente excitador, y 2.º la membrana impresionable.

El agente excitador está representado por las ondulaciones del éter luminoso ; si estas vibraciones no alcanzan al número de 477 billones por segundo, la retina no es impresionada por la luz ; si estas vibraciones exceden de 699 billones por segundo, acontece otro tanto. De manera que, segun decíamos, es indispensable que el éter vibre entre ciertos límites para dar al sensorio la nocion de luz. Frotando enérgicamente dos pedazos de madera, observamos que al cabo de algun tiempo se calientan. Nuestra vista, sin embargo, no percibe en ellos cambio alguno. ¿A qué se debe esta calefaccion, y por qué motivo la percibimos por el tacto, y no acertamos á percibirla por la vista? Con el roce hemos comunicado movimiento al éter; las vibraciones que este éter ejecuta son muy largas ; el tacto, por medio de terminaciones nerviosas adecuadas. es impresionado por la citada longitud de ondulacion ; se desarrolla una corriente que, llegando al cerebro, despierta en el sensorio la nocion de calor. De manera que las ondulaciones largas, son el excitante adecuado de ciertas terminaciones periféricas de los nervios sensitivos.

Si continuamos frotando los dos pedazos de madera, llegarán á entrar en ignicion, y entonces *veremos* que los pedazos de madera *arden*. ¿Por qué? Porque las vibraciones del éter se irán haciendo cada vez más pequeñas y frecuentes, y la retina es el órgano destinado á impresionarse por las vibraciones cortas del éter referido.

§ 25.

Marcha de las vibraciones luminosas en el espesor de la retina. Transformacion de la luz en corriente nerviosa. — Admítase todavía por muchos fisiólogos que las vibraciones luminosas atraviesan las diferentes capas de la retina, excitando á su paso los elementos sensibles de la misma, y llegan á la coroides, donde son absorbidas por el pigmento corioideo. Rouge topina que los rayos luminosos llegan á la retina despues de haber atravesado el sistema refringente, pasan por las capas internas de esta membrana sin excitar las fibrillas nerviosas que las forman, alcanzan la base de los conos y de los bastoncillos y reflejados por el pigmento corioideo, excitan entonces esos conos y bastoncillos en la direccion de su eje.

Schultze sostiene que las vibraciones luminosas se reflejan en los *espejos corioideos*, pasan á traves de las laminillas constitutivas del segmento externo de los conos y de los bastoncillos para pasar luego al segmento interno, único elemento impresionable segun supone, donde relacionadas con las fibrillas nerviosas, se transforman en corrientes nerviosas. Segun la longitud de la onda, la corriente nerviosa será distinta, y esta diferencia de corrientes se apreciará por el sensorio bajo la sensacion de *colores* diferentes.

Zenker da un paso más en este estudio, pues asegura que las vibraciones del éter se transforman en vibraciones estacionarias en las láminas del segmento externo. Segun esta teoría, las ondulaciones *movibles* del espectro se transformarían en ondas *fijas*, dando lugar á un *estado tetánico* de la terminacion nerviosa, que á su vez sería el origen de la *impresion* lumínica.

Segun Du Bois-Reymond, lo que se verifica no es otra cosa que un verdadero desplazamiento de moléculas elec-

tro-motrices. En opinion de Draper, de acuerdo con Morano, se trata sólo de un efecto térmico. Absorbida la *luz* en el pigmento corioideo, se produce *calor*, y éste origina en los elementos retinianos una *corriente* nerviosa, que por el nervio óptico llega hasta el cerebro. Todas estas teorías, más ó menos ingeniosas, van siendo relegadas al olvido, y en su lugar va siendo aceptada por la mayoría de los fisiólogos la que se conoce con el nombre de *Teoría foto-química*, de que vamos á ocuparnos.

§ 26.

Teoría foto-química de la excitacion retiniana. — Aseguran Heusen y Moser, que la transformacion de las vibraciones lumínicas en corrientes nerviosas se debe á un fenómeno foto-químico. Nosotros, admitiendo la referida marcha de los rayos luminosos desde las capas internas á la membrana de Jacob, nos inclinamos á esta última opinion, por las varias razones que vamos á exponer.

El descubrimiento del rojo retiniano verificado por Boll en 1876, ha venido á demostrar que existe en la retina una sustancia que se transforma químicamente por la influencia del éter luminoso. De este conocimiento á la suposicion de que las vibraciones luminosas se transformen en vibraciones nerviosas, no hay más que un paso. Y este paso se va acortando más y más, si consideramos la *adaptacion* natural de esta teoría á la mayor parte de los fenómenos que en la vision ocurren.

En efecto ; segun resulta de los notables experimentos de Charpentier, cuando, comenzando por *cero*, aumentamos gradualmente la intensidad de una luz dada, la sensacion se produce al llegar á cierto *mínimum*. Y sin embargo de esto, contra todo lo que podría suponerse, aún podemos percibir una luz de menor intensidad que la que este *mínimum* representa, *disminuyendo* gradualmente la citada luz ; pues en este caso la sensacion, en lugar de

desaparecer, continúa todavía. ¿Cómo se explica este singular fenómeno? Tan sólo teniendo en cuenta que para *hacer entrar en vibracion* á los elementos nerviosos retinianos, se ha debido *gastar* cierta cantidad de luz. La *pasividad* del aparato retiniano aumenta en la oscuridad, y tambien en dicha ausencia de las vibraciones luminosas, se va formando el color rojo de Boll. Ahora bien, desde el momento en que hay mayor cantidad de esta sustancia colorante, deberá absorberse en ella una cantidad mayor de luz; y, al contrario, habiendo menos, la citada absorcion será menor. Por este motivo el *mínimum* baja, cuando la retina está débilmente iluminada, pues entonces está ya *vibrando* esta membrana.

¿No podría explicarse el *cansancio* de la retina por el *desgaste* de la sustancia específicamente impresionable á la accion de las vibraciones luminosas?

Las *imágenes accidentales*, ¿no podrían explicarse por una *continuacion* de las reacciones químicas, despues de haber cesado las vibraciones que las determinaron?

Se ha objetado á esta teoría que el rojo retiniano no existe en la *fovea centralis*, toda vez que los conos carecen de él. Pero lo importante para nosotros no es precisamente la existencia del color rojo de Boll, sino la seguridad que tenemos de que hay en la retina una ó varias sustancias muy sensibles á la accion de las vibraciones luminosas. Por otra parte, ¿quién nos asegura que no existan otras sustancias de este género que, excitadas por la luz, se transformen químicamente, y que por tal transformacion den origen á las corrientes nerviosas indispensables á los fenómenos visuales?

Kühne, estudiando en la rana, ha visto que los cristales de pigmento negro salían de las células pigmentadas y llegaban hasta muy cerca de la membrana limitante, siempre que actuaban sobre dichas células las vibraciones del éter luminoso; y que, al contrario, durante la oscuri-

dad, volvían otra vez al cuerpo de la célula los cristales de pigmento que salieron de ella. Esto da lugar á que, bajo la influencia de la luz, los bastoncillos y los conos queden rodeados de una capa de pigmento.

En la teoría de Hering, que más adelante ha de ocuparnos (*teoría de las sensaciones visuales*), los hechos se comprenden mucho mejor que en la de Young y la de Helmholtz, mediante la admision de sustancias foto-químicas.

CAPÍTULO VI.

SENSACIONES DE COLOR.

§ 27.

Division de los colores. — La luz solar es una mezcla de vibraciones luminosas, cuyas longitudes de onda son distintas. Cuando la luz atraviesa un medio transparente, la velocidad de propagacion se disminuye; y si el medio tiene sus caras divergentes, prismas, como la disminucion de la velocidad es distinta para las diferentes vibraciones, éstas se *separan*, dando lugar á los *colores* del espectro.

Los rayos menos refrangibles del espectro no excitan los elementos retinianos; los rayos más refrangibles tampoco inducen en ellos alteracion apreciable. Los primeros son *caloríficos oscuros*; los segundos son rayos *químicos*. Los rayos visibles, siguiendo el orden de mayor á menor refrangibilidad, son los que dan origen á las *sensaciones* siguientes: *roja, anaranjada, amarilla, verde, azul, añil y violada*.

Los cuerpos *blancos* reflejan los rayos de todos los colores — todas las longitudes de onda — en una proporcion igual; los *negros* absorben todos los colores, y si á pesar de esto son visibles, débese á que los cuerpos cercanos esparcen colores diferentes y tan sólo *por contraste* los ne-

gros se pueden ver. Los colores de los cuerpos dependen de la diferente manera que éstos tienen de reflejar los rayos elementales de que se compone la luz blanca. Así, por ejemplo, un cuerpo es amarillo, porque únicamente refleja las longitudes de onda de los rayos amarillos, absorbiendo en cambio todos los demás; es rojo, es azul, es anaranjado, etc., por idéntica razón.

Así también, un cuerpo transparente tiene tal ó cual color, porque en contacto, por ejemplo, con la luz solar, absorbe todas las longitudes de onda que la luz blanca contiene, menos la del color propio del cuerpo, la cual atraviesa el medio transparente sin dificultad de ningún género.

Los colores pueden ser *simples* ó *compuestos*. Entiéndese por color simple ó primitivo cualquiera de los siete colores del espectro, pues siendo igualmente refrangibles los rayos que los constituyen, no pueden descomponerse; estos colores, sin embargo, no se presentan claramente determinados, pues cada uno avanza sobre el siguiente el rojo sobre el anaranjado, éste sobre el amarillo, el amarillo sobre el verde, etc. Cada uno de estos colores determina diferentes cantidades de calor, de tal manera, que si representamos por 1 la cantidad de calor del violado, encontraremos para el rojo la cifra 16. Se conoce con el nombre de color compuesto el que contiene diferentes rayos ó sea vibraciones de diferente refrangibilidad. Para obtener los colores compuestos basta mezclar, en determinadas proporciones, ciertos colores primitivos; cuando mezclamos los siete colores espectrales obtenemos el color blanco ó el gris. Todos los colores naturales de los cuerpos que impresionan nuestra vista son compuestos.

Los cuerpos compuestos se dividen en unos existentes de antemano en el espectro y en otros que no preexisten en el mismo. Los primeros se llaman *mixtos*; los segundos están representados por el *blanco* y por el *púrpura*.

Sin embargo, no hay inconveniente en considerar al púrpura como mixto, toda vez que resulta de la mezcla de dos colores simples.

Los principales colores mixtos, segun Helmholtz, se forman por las siguientes combinaciones :

Rojo y violeta forman.....	<i>púrpura.</i>
Rojo y azul idem.....	<i>rosa.</i>
Rojo y verde idem.....	<i>amarillo mate.</i>
Rojo y amarillo idem.....	<i>anaranjado.</i>
Verde y azul idem.....	<i>azul verdoso.</i>
Amarillo y violeta idem.....	<i>rosa.</i>
Amarillo y verde idem.....	<i>amarillo verdoso.</i>
Verde y violeta idem.....	<i>azul pálido.</i>
Azul y violeta idem.....	<i>azul de añil.</i>

Sentado esto, veamos las particularidades á que dan lugar cualquiera de estos colores, el púrpura, por ejemplo. Si los rayos que penetran en el ojo tienen este color como resultado de la mezcla del rojo y del violeta antes de su llegada al aparato ocular, percibimos el color de púrpura. Si los conos luminosos que penetran en el ojo, son el uno rojo y violáceo el otro, lo cual se consigue mirando á traves del diafragma de un optómetro en cuyas aberturas se hayan puesto dos cristales, uno de cada color, percibimos, lo mismo que en el caso anterior, el color púrpura, acomodando la vista de manera que los círculos de difusion de estos conos se cubran en parte. Si no penetra en el ojo más que un solo cono luminoso de color rojo, y le hacemos desaparecer al poco rato, sustituyéndolo con otro de color violeta, cuando todavía no se haya extinguido en la retina la excitacion producida por el primero, percibimos tambien, lo mismo que en los casos anteriores, el color púrpura. Por último, si la retina derecha recibe un cono luminoso de color rojo y la izquierda otro de color violeta, de manera que vayan á parar á lo que en cada una de las retinas se llaman *puntos idénticos*, percibimos asi-

mismo el color púrpura sin que tengamos conciencia del rojo ni del violeta, que son sus colores *componentes*.

Como acabamos de ver, el púrpura resulta de la mezcla de los colores simples situados en los dos puntos extremos del espectro. En cuanto al blanco, se forma por la combinación de diferentes pares, de colores objetivos simples; dándose el nombre de *colores complementarios* ó radiaciones espectrales á los que dan la sensación del blanco cuando se los mezcla en la relación en que se encuentran en la luz solar.

Lo que sucede con los colores mixtos sucede también con los *complementarios*. Si dos colores simples dan el blanco como resultante de su mezcla, se llama al uno *complementario* del otro; así, el amarillo es complementario del violeta, el anaranjado del azul y el rojo del verde. Los colores mixtos, mezclados entre sí, ó con ciertos colores simples, pueden, en algunos casos, dar lugar al blanco. Pues bien, cuando dos conos luminosos cuyo color es complementario el uno del otro, como el azul y el anaranjado, se reúnen antes de penetrar en el ojo, el color que percibimos es blanco. Si los rayos complementarios penetran en el ojo separadamente, pero al mismo tiempo, y adaptamos la vista á la distancia de que proceden, el color que percibimos es también blanco; si penetran separadamente, de modo que el uno no impresione la retina sino cuando el otro ha desaparecido, pero mientras dura todavía el efecto de su excitación, que suele ser un tercio de segundo, el color que percibimos es asimismo blanco; y cuando un color complementario se dirige á la retina derecha y el otro á la izquierda, correspondiendo á puntos idénticos de las dos retinas, el color que percibimos es blanco, lo mismo que en los casos anteriores.

Desígnanse con el nombre de *colores fundamentales* aquellos que, mezclados en la debida proporción, pueden dar origen, no solamente á todos los demás colores, sino también á todos los *matices* conocidos.

No hay aún completo acuerdo respecto á los colores de

que nos estamos ocupando, pues al paso que los artistas obtienen todos los colores imaginables por la asociacion, en diferentes proporciones, del *azul*, el *amarillo* y el *rojo*, por cuyo motivo consideran como fundamentales estos tres colores, Helmholtz, al igual que Yung, sólo considera como tales al *violeta*, al *verde* y al *rojo*, fundándose en el resultado de sus experimentos, que no han hecho como los artistas mezclando materialmente los colores, procedimiento que, en su opinion, da lugar á una verdadera ilusion óptica, sino mezclando los rayos luminosos del espectro. En el dia, despues de los trabajos de Fick, se consideran como colores fundamentales el *azul*, el *verde* y el *rojo*.

§ 27.

Hipótesis relativas á los colores y á las sensaciones fundamentales. — Ya que la vista distingue perfectamente unos colores de otros, es preciso, ó que en la retina haya terminaciones nerviosas diferentes, cada una de las cuales sólo pueda ser excitada por un color particular, ó que haya una sola terminacion nerviosa á la cual impresionen todos los colores, aunque cada uno con su forma especial de excitacion. Hasta aquí es casi indiferente aceptar una ú otra teoría; pero la cuestion es tanto más difícil de resolver cuanto más detenidamente se la estudia, segun vamos á demostrar.

Los fenómenos relativos á este punto parece que se comprenden mejor si admitimos que en cada cono hay, no una sola, sino varias fibrillas nerviosas, cada una de las cuales, excitada por un color particular, transmite al cerebro la impresion que ha recibido; y como al fin, todos los colores conocidos pueden reducirse á tres fundamentales, con los que se forman los demas, combinándolos de diferente manera, podría sospecharse que en cada cono de

la retina hay, cuando menos, tres elementos nerviosos distintos, uno para cada color fundamental.

Aun cuando esta explicacion dista mucho de ser satisfactoria, no puede desconocerse que tiene gran número de hechos en su apoyo. En primer lugar, los conos de la retina, á los que se atribuye la facultad de percibir los colores, están formados por la reunion de cierto número de cilindro-ejes muy finos, cada uno de los cuales puede considerarse como una terminacion nerviosa elemental. En segundo lugar, la facultad de percibir los colores es mayor en la *fovea centralis*, donde el número de conos es más considerable; disminuye hácia la periferia de la retina, donde su número es menor, y es casi nula en sus bordes, donde ó faltan ó están muy separados. En tercer lugar, las aves nocturnas, que no necesitan distinguir los colores, no tienen conos, sino bastoncillos, elementos nerviosos más sencillos que se transforman en un solo cilindro-eje, destinados al parecer á medir la intensidad de la luz; y en cuarto lugar, hay enfermedades de la vista—*daltonismo*, *discromatopsia*,—caracterizadas por la imposibilidad de percibir, los que las padecen, alguno de los colores fundamentales, si bien conservan la facultad de distinguir los demas. Si el daltonismo se limita al color rojo, como frecuentemente sucede, todos los colores rojos parecen negros, y un color mixto, el púrpura, por ejemplo, en cuya composicion entra el rojo y el violeta, se ve de color violeta, puesto que el rojo no se puede percibir.

Ademas, *fatigando* la retina para un color determinado, puede producirse accidentalmente la *ceguera* para este color; y *paralizando* los elementos de esta membrana destinados á la sensacion del violeta, veremos todos los objetos de color amarillo. Este fenómeno se produce fácilmente administrando *santonina* á un individuo.

Independientemente de estos hechos, hay otra circunstancia digna de tenerse en cuenta. En la retina de las aves

no existen conos; pero cada tres ó cuatro bastoncillos reunidos corresponden á lo que es un cono en el hombre, con la particularidad de que estos bastoncillos contienen entre sus partes interna y externa una bolita grasosa, roja en unos, amarilla en otros, y en otros blanca, lo que da lugar á sospechar que cada uno de ellos sirve para la percepcion de un color fundamental. El buho, el mochuelo y otras aves nocturnas carecen de estos bastoncillos de color.

De los hechos precedentes puede deducirse, por más que no sea una cosa completamente demostrada, que los conos y los bastoncillos son los elementos de la retina sensibles á las vibraciones del éter; que los primeros están principalmente destinados en el hombre á la percepcion de los colores y que los segundos tienen por objeto apreciar la intensidad de la luz.

Para la más fácil comprension de todos estos hechos, supongamos que en cada cono retiniano existen, como hemos dicho, tres fibrillas nerviosas diferentes, cada una de las cuales determina en el cerebro una *sensacion especial*; supongamos además que la excitacion de una de estas fibrillas da lugar á la sensacion del color *azul*, la de otra á la del *verde* y la de la última á la del *rojo*; que las vibraciones cortas excitan enérgicamente la fibrilla nerviosa destinada á originar en el cerebro la sensacion azul, al paso que las otras vibraciones la excitan débilmente; que las vibraciones de mediana longitud excitan fuertemente la fibrilla nerviosa originaria de la sensacion verde, excitándola en cambio débilmente las otras vibraciones; que las vibraciones largas excitan potentemente la fibrilla adecuada para la sensacion roja, siendo tambien excitada apenas por las demas vibraciones del espectro, y por último, que la excitacion igual de las tres fibrillas da lugar á la sensacion de blanco. Todo esto supuesto, figurémonos que una luz cualquiera excita las tres fibrillas de los conos, y entonces tendremos que la sensacion pro-

ducida dependerá de la excitacion predominante sobre cualquiera de las tres. Se comprenderá, por lo que antes hemos dicho, que podemos sustituir el nombre de sensacion azul, por el de sensacion de violeta, sin que la teoría resulte modificada. Helmholtz, al exponer y prohiar la hipótesis de Yung, admite las tres sensaciones, roja, verde y violada. Hé aquí cómo puede entenderse el mecanismo de las referidas sensaciones, echando mano del esquema que el sabio profesor de Heidelberg transcribe en su magnífica obra de *Optica fisiológica* fig. 119 de dicho libro.

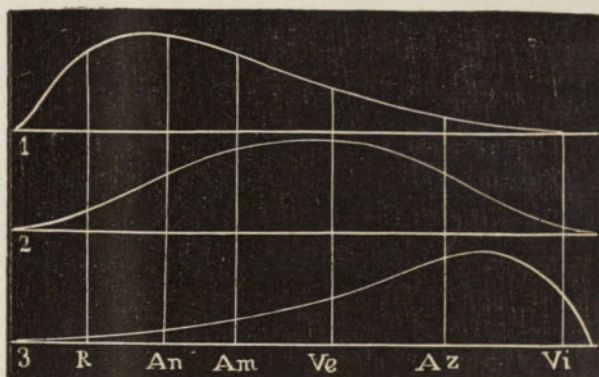


FIGURA 24.

Supongamos los colores espectrales *rojo*, R, *anaranjado*, An, *amarillo*, Am, *verde*, Ve, *azul* Az, y *violado*, Vi, dispuestos verticalmente como en la fig. 21; y admitamos que las curvas 1, 2, 3, representan la excitabilidad de las 3 fibrillas indicadas; es decir, la curva 1 para la sensacion de rojo, la curva 2 para la sensacion de verde y la curva 3 para la sensacion de violado. Dispuesto así el esquema, los fenómenos se comprenden fácilmente: cada una de las 3 curvas, no sólo indica la excitabilidad para su respectivo color, longitud de ondulacion, sino tambien el grado relativo de excitacion que producen en ella los demas colores. Se observa en la figura que la curva 1 llega á su *máximo* de elevacion entre el rojo y el anaranjado; la curva 2 en el

verde, y la curva 3 entre el azul y el violeta. Las perpendiculares R, An, Am, Ve, Az, y Vi, corresponden á los colores del espectro y atraviesan las curvas 1, 2, 3; por cuyo motivo la altura de la perpendicular comprendida entre la recta y la curva nos indica el grado de energía que cada color respectivo imprime á las 3 categorías de fibrillas. Así vemos, por ejemplo, que la perpendicular levantada en la línea del violeta Vi—correspondiente á las vibraciones cortas—casi limita su excitacion á la curva 3, por cuyo motivo diremos que el color violeta ejerce casi toda su accion en dicha curva; que el verde, Ve, determina una enérgica irritacion en 2, y una excitacion muy debil en 1 y en 3, etc.

La hipótesis de Young y Helmholtz, que acabamos de exponer, aceptada por la mayor parte de los fisiólogos, dista mucho sin embargo, de estar exenta de objeciones, y es probable que dentro de breve tiempo sea reemplazada por otra teoría muy distinta. Nos referimos á la *teoría* de Héring, que nos falta todavía reseñar.

Héring admite seis sensaciones fundamentales, que son las *negras*, las *blancas*, las *rojas*, las *amarillas*, las *verdes* y las *azules*; estas sensaciones son las únicas que deben considerarse como simples, pues todas las demas son realmente complejas: así, en el *violeta*, por ejemplo, se encuentran, segun Héring, el azul y el rojo; en el *anaranjado*, el rojo y el amarillo, en el *gris*, el blanco y el negro. Estas seis sensaciones se agrupan de dos en dos: amarillo y azul, rojo y verde, blanco y negro. Si tomamos dos sensaciones de dos diferentes pares, no hay transicion posible de sensaciones intermediarias, al paso que entre los dos colores que constituyen un *par*, hay toda la serie de dichas sensaciones. De todo esto se deduce que las diferentes regiones espectrales, no determinan sensaciones de un mismo grado de simplicidad.

Existen, segun Hering, en la membrana de Jacob, tres sustancias foto-químicas, que en presencia de las vibra-

ciones luminosas, experimentan una *desasimilacion*, y al mismo tiempo tienden á *reconstruirse*: cuando se desasimilan, dan origen á diferentes sensaciones; cuando se asimilan, verifican otro tanto; y el estudio analítico de estos procedimientos fisiológicos puede hacernos admitir los fenómenos siguientes: al desasimilarse una de las tres sustancias foto-químicas, se produce en el sensorio una sensacion *blanca*; cuando se desasimila la segunda, la sensacion es *roja*; cuando la tercera, la sensacion es *amarilla*: cuando en la primera sustancia se verifica un movimiento de asimilacion, la sensacion es *negra*; cuando en la segunda, *verde*; cuando en la tercera, *azul*.

Esta teoría química, que actualmente viene apoyada en muchos datos, se completa de una manera ingeniosísima por los curiosos detalles en que se ocupa su autor.

Dado un punto de la retina, sujeto á la desasimilacion referida, la sustancia que contenía se desgasta; este punto experimenta un *defecto* de elementos foto-químicos, y para subvenir á las necesidades de la vision, va á buscar los elementos que ha gastado á las partes más cercanas de dicha retina: en estas partes entonces se verifica la desasimilacion de la referida sustancia foto-química, por cuyo motivo en las imágenes negativas aparece una auréola blanca y las partes oscuras del objeto se presentan más claras. En el punto que continúa siendo asiento de la excitacion, la sustancia foto-química se desgasta, y éste es el motivo de que palidezcan las partes claras del objeto. Desde el momento en que las vibraciones lumínicas cesan de accionar, el movimiento de desasimilacion se paraliza; entonces viene una asimilacion activa á reparar las pérdidas que aquélla había ocasionado, por cuyo motivo las partes claras de la imagen negativa se hacen negras, las amarillas se hacen azules; las rojas se hacen verdes. Finalmente, si la auréola continúa presentándose despues de haber desaparecido el foco luminoso, débese simplemente

á que en dicha auréola la desasimilacion persiste aún.

Segun Héring, la sustancia del blanco y del negro son excitadas por todos los colores del espectro, de la misma manera que por la luz blanca. — Héring, *Lehre vom Lichsinne*, Viena, 1878.

§ 28.

Caracteres de las sensaciones cromáticas. — Tres son las sensaciones de color, á saber: *saturacion*, *tono* é *intensidad*.

Entiéndese por *saturacion* la falta relativa ó absoluta de luz blanca en un color determinado. El *máximum* de saturacion, corresponde al cero de luz blanca: en este caso el color recibe el nombre de *saturado*. Todos los colores simples del espectro son saturados, porque consta cada uno de ellos de una sola clase de vibraciones etéreas: el púrpura, á pesar de no ser un color simple, tambien es saturado. Si á un color cualquiera le añadimos poco á poco cantidades determinadas de luz blanca, obtendremos insensiblemente el color blanco.

El *tono* es á los colores, lo que la altura á los sonidos; es decir, que está subordinado directamente al número de vibraciones, que, para producir un color, ejecuta el éter luminoso en un espacio determinado de tiempo.

Si el tono depende del *número* de vibraciones, la *intensidad* se refiere á la *amplitud* de las mismas. Cada color exige una intensidad distinta: así, el color azul requiere menos intensidad que el color rojo. Siempre que la intensidad se hace excesiva, la sensacion blanca es dominante, de tal manera, que llega á desaparecer por completo el tono del color.

§ 29.

Mezcla de los colores. — Tres son los métodos principales de que podemos servirnos con provecho: 1.º el espec-

tral; 2.º el de los discos giratorios, provistos de sectores diferentemente colorados; 3.º el de la impresion retiniana simultánea de dos distintos colores objetivos.

El primero es el mejor, y consiste tan sólo en la superposicion de distintas partes de un espectro ó de espectros diferentes. Es un caso limitado de la síntesis de la luz; pues si la reunion de todos los colores del espectro origina la luz blanca, la combinacion de dos ó más colores simples, nos da un color compuesto. Sin embargo, debemos advertir que, contra lo que podría suponerse, si en lugar de dos colores mezclamos tres, cuatro, cinco, etc., entre sí, no obtendremos ninguna categoría nueva de sensaciones de color.

El segundo y el tercero son mezclas, no de colores objetivos, sino de *sensaciones* obtenidas por la accion de estos colores en la membrana de Jacob. Se realiza el segundo método por medio de un disco giratorio cuyos sectores son de colores diferentes; imprímese á este disco un movimiento de rotacion sobre su eje, y las impresiones de los colores se mezclan en la retina, porque viene una impresion nueva á afectar esta membrana antes de que haya desaparecido la sensacion anterior.

Para este objeto sírvenos perfectamente el disco rotador de Newton, representado en la fig. 25.

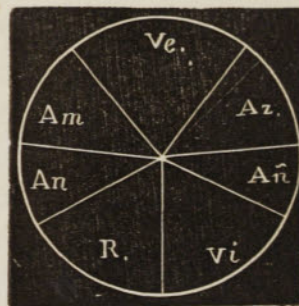


FIG. 25.—Disco rotador de Newton, dispuesto para la mezcla de los colores.

Consiste el tercer método en determinar, no sucesivamente como en el segundo, sino *simultáneamente*, dos impresiones de diferente color en un mismo punto de la

membrana de Jacob. El procedimiento más sencillo para conseguirlo, es el ideado por Lambert: colócanse dos obleas de distinto color sobre una mesa, cuyo fondo sea negro; separada de la mesa, y á una conveniente elevacion, se coloca verticalmente una lámina de cristal, teniendo entendido que el plano de esta lámina debe dividir en dos mitades completamente iguales á la recta que une ambas obleas, y ser perpendicular á dicha recta. Así dispuestas las obleas y el cristal, se mira oblicuamente, á través de la antedicha lámina, para ver de una manera *directa* la oblea *a*, y por *reflexion* sobre esta lámina la oblea *b*. De esto resulta que en un mismo punto de la retina se pintan á la vez ambas imágenes, por cuyo motivo la sensacion obtenida es la correspondiente á la mezcla de los dos colores de las obleas en cuestion.

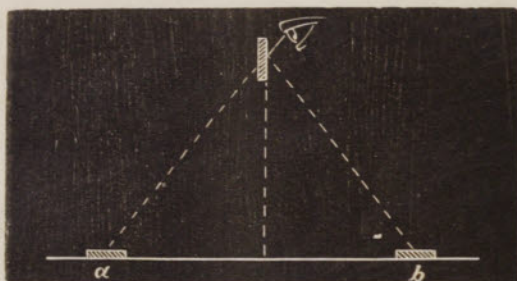


FIG. 26. — Procedimiento de Lambert para la mezcla de los colores.

Este procedimiento puede variarse al infinito, consistiendo su mecanismo, como se ve, en la impresion retiniana simultánea de dos colores; uno *transmitido* y otro *reflejado*.

Existe, además, un cuarto método consistente en la mezcla de líquidos ó de polvos colorantes; pero no debe emplearse nunca en Fisiología, porque la luz resultante de la mezcla es distinta de la suma de las luces que cada una de las sustancias colorantes reflejaría.

§ 30.

Representacion geométrica de las leyes á que obedece la mezcla de los colores. — Segun hemos visto más arriba, en la *cualidad* luminosa no existen más diferencias, que el grado de saturacion, el tono y la intensidad. Partiendo de estos hechos, establece Helmholtz la siguiente proposicion : *La sensacion de un color producida por cierta cantidad x de la luz mezclada cualquiera, puede siempre ser reproducida por la mezcla de cierta cantidad a de luz blanca con cierta cantidad b de luz saturada (color espectral ó púrpura) de un tono determinado.* Y para conocer las leyes á que obedece la mezcla de los colores, hay dos procedimientos geométricos que expondremos brevemente. El uno es el

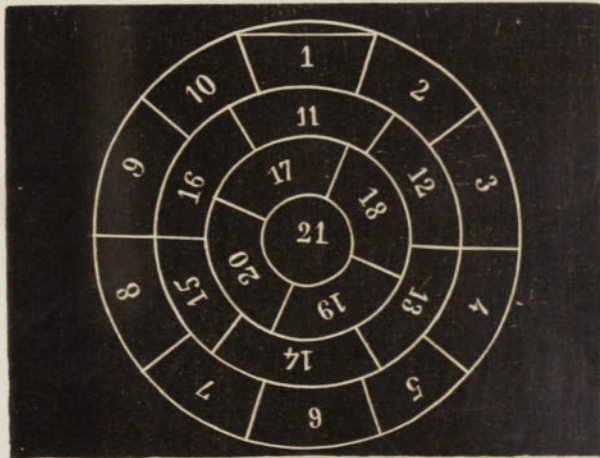


FIG. 27. — *Círculo cromático* : 1, púrpura ; 2, violado ; 3, azul indigo ; 4, azul ciánico ; 5, verde azul ; 6, verde ; 7, verde-amarillo ; 8, amarillo ; 9, anaranjado ; 10, rojo ; 11, rosa ; 12, azul de cielo ; 13, azul de agua ; 14, verde-pálido ; 15, amarillo paja ; 16, rojo-claro ; 17, blanco-rojo ; 18, blanco-azul ; 19, blanco-verde ; 20, blanco-amarillo ; 21, blanco.

del círculo cromático de Newton, y el otro el del triángulo cromático. Cuando se emplea el primero, se disponen los colores en la forma establecida en la figura, y para conocer el color resultante de la mezcla de dos colores no complementarios, basta tirar una recta que enlace mútua-

amente estos dos colores, como se observa en la figura y el radio que pasa por medio de la cuerda ó sea de la recta que une los dos colores, señalará el color resultante de la mezcla.

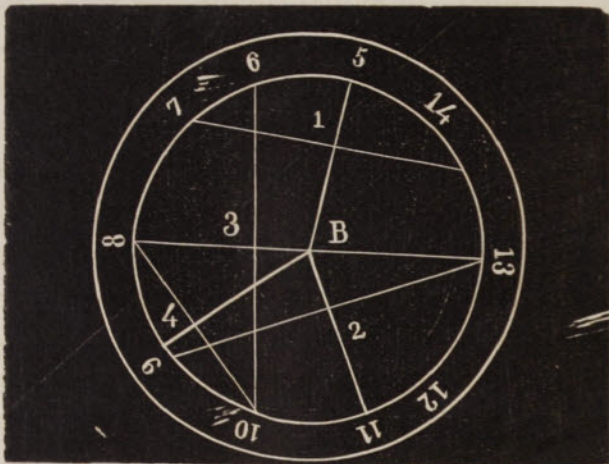


Fig. 28. — Resultado de la mezcla de los colores espectrales : 5, púrpura ; 6, rojo ; 7, anaranjado ; 8, amarillo ; 9, verde-amarillo ; 10, verde ; 11, verde-azul ; 12, azul ciánico ; 13, azul indigo ; 14, violetado.

El segundo procedimiento fundado en el *triángulo cromático*, consiste en lo siguiente :

Sea un triángulo R, V, V' , sobre cuyos lados colocamos los colores, anaranjado, amarillo, azul, añil y púrpura, y en cuyos vértices el rojo, el verde y el violado. La inspec-

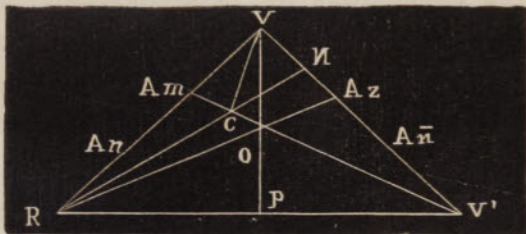


Fig. 29. — Triángulo cromático.

ción de la figura nos enseña que el anaranjado y el amarillo están situados en el lado R, V , al paso que el azul y el añil, en el lado V, V' . Respecto al tercer lado R, V' , no contiene ningun color especial, pero sí el púrpura, re-

sultante, como ya sabemos, de la mezcla de los dos colores extremos del espectro (rojo y violeta). El punto O , corresponde al blanco, por cuyo motivo se encuentra en la interseccion de las líneas que enlazan entre sí los colores complementarios. Las cantidades de rojo, de verde y de violeta, indispensables para formar el blanco, están indicadas por las líneas RO , VO , y $V'O$. Indícanse igualmente en la figura las cantidades proporcionales de otros colores complementarios, indispensables para la formacion del blanco: por ejemplo, las líneas RO , y AzO nos dicen las cantidades de rojo y azul que deben tomarse para formar dicho blanco. Todavía puede aprenderse más en la figura: si tomamos, por ejemplo, un punto G , correspondiente á un color compuesto, resultado de tres colores fundamentales en las precisas proporciones de las respectivas restas RC , VC , y $V'C$, veremos que la resta $V'C$, va á pasar al color amarillo, por consiguiente, podremos sustituir por el amarillo, en la proporcion representada por la línea AmC , el rojo y el verde, mezclando este amarillo con el violado en la proporcion de este color, que representa la línea $V'C$, etc.

Este triángulo, sin embargo, sólo nos da las relaciones de saturacion y de tono. Si queremos representar geoméricamente las variedades de la intensidad, no podemos valernos ya de una superficie, sino que nos será indispensable echar mano de un sólido para disponer de la tercera dimension. Entre los sólidos geoméricos podemos valernos de la *pirámide* y del *cono*.

Los colores más sombríos se hacen converger hácia el vértice del cono, y este vértice está ocupado por el negro. La figura nos representa tres secciones de un *cono cromático*; la seccion más pequeña representa, como hemos dicho, el negro, y está tomada cerca del vértice del cono; la seccion media que corresponde á la mitad de la altura de dicho cono, presenta como se ve el rojo oscuro, el mo-

reno, el verde oliva y el azul gris ; la tercera, que representa la base, corresponde á los colores que hemos visto en el círculo mayor del esquema de Newton.

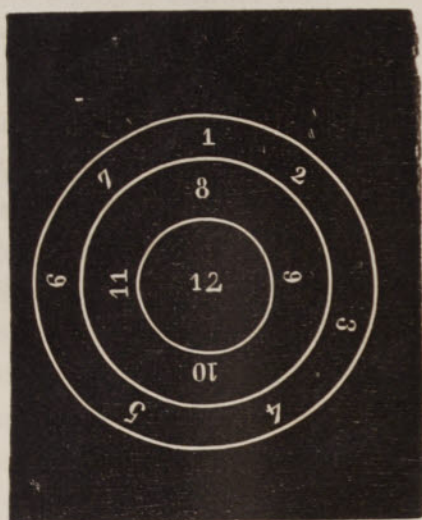


Fig. 30. — Cono cromático : 1, púrpura ; 2, rojo-anaranjado ; 3, amarillo ; 4, verde ; 5, azul ciánico ; 6, azul indigo ; 7, violado ; 8, rojo moreno ; 9, moreno ; 10, verde-oliva ; 11, azul-gris ; 12, negro.

§ 31.

Rectificación de las imágenes que en la retina se pintan invertidas. — Hemos dicho que las imágenes se pintan invertidas en la retina, y como á pesar de esta circunstancia vemos siempre los objetos en su posición natural, ha sido preciso averiguar las causas de que depende este fenómeno.

Lecat y otros fisiólogos supusieron que desde el momento de nacer vemos los objetos invertidos, y que este defecto de la vista se va corrigiendo insensiblemente á medida que el tacto nos enseña su verdadera posición. La insuficiencia de esta teoría, por más ingeniosa que parezca, queda demostrada con sólo recordar que, cuando los ciegos de nacimiento recobran la vista en una edad más ó menos avanzada, ven los objetos desde el primer

instante en su posicion natural, sin necesidad de aprendizaje ni de que el tacto les vaya suministrando datos para corregir un error que no existe.

Berkeley sostuvo que, viéndose todos los objetos invertidos y conservando cada uno su verdadera posicion con respecto á los demas, nada cambiaba en la situacion de la naturaleza, y de consiguiente, todo lo veíamos en su posicion natural. Esta doctrina, aunque adoptada por Müller y otros fisiólogos de talento, no resiste al más ligero examen. Nosotros no vemos los objetos invertidos, *sin advertirlo*, que es lo que viene á decir Berkeley, pues cerrando los ojos, no sólo conocemos por medio del tacto la posicion respectiva de las diferentes partes de nuestro cuerpo, sino la que tienen los objetos que nos rodean con relacion á la nuestra. La nocion que de este modo adquirimos acerca de la extension, forma y posicion de los cuerpos, nos dice, sin necesidad de la vista, que la cabeza la tenemos en la parte superior, y nos dice al mismo tiempo, que los demas hombres no la tienen en la parte correspondiente á nuestros piés. Pues esta nocion, confirmada en todas sus partes por el sentido de la vista, es la que nos permite asegurar que no vemos los objetos invertidos, sino como en realidad están. Ahora bien; ¿en qué consiste que los veamos en su posicion natural pintándose invertidas las imágenes en la retina?

Longet asegura que cuando los rayos luminosos atraviesan el espesor de la retina despues de haberse cruzado en el centro óptico, excitan las partículas nerviosas que encuentran en su camino, y que estas diferentes partículas, dispuestas á manera de mosaico, transmiten al sensorio impresiones distintas, de donde resulta el conocimiento de la verdadera direccion de los rayos luminosos, y de ahí el que se vean los objetos *derechos* á pesar de la inversion de sus imágenes.

Muy parecida es la opinion de J. Beclard: dice este

sabio fisiólogo, que «una vez producida la impresion, la » retina transmite al encéfalo la noción de la *direccion* de » los rayos luminosos que vienen á impresionar cada una » de sus partes elementales. La impresion del rayo de luz » tiene lugar en todo el grueso de esta membrana, desde » la cara posterior del cuerpo vítreo hasta la coroides bar- » nizada de su pigmento. La impresion, por consecuencia, » no se verifica en una superficie matemática. Aunque la » retina sea muy delgada, la impresion se verifica en la di- » reccion de una línea que atraviesa el grueso de esta mem- » brana, y que indica la *direccion lineal* del rayo de luz. » En esta direccion es llevado cada rayo luminoso que » impresionan la retina. Así es como vemos los objetos, » tales como son realmente, esto es, tales como el tacto » nos lo muestra relativamente á las partes de nuestro » cuerpo. En una palabra, vemos los objetos derechos, » *porque vemos cada uno de sus puntos en la direccion de los » rayos luminosos que impresionan la retina.*»

En efecto; nosotros *no miramos las imágenes pintadas en nuestra retina*, como parece entienden algunos fisiólogos. Esta membrana, excitada por las vibraciones del éter, se modifica, transmite esta modificacion por el nervio óptico, y ésta, conduciendo la corriente á los centros cerebrales, despierta en ellos un movimiento específico, que el sensorio aprecia bajo la forma característica de *percepcion luminosa*. No debe, pues, entenderse que el *yo* examina la imagen retiniana; no debe, pues, hablarse de rectificacion de las imágenes; la percepcion es un fenómeno puramente subjetivo.

§ 32.

Relacion entre las dimensiones de la imagen y la percepcion de los objetos.—Es cosa de todos conocida que distinguimos con dificultad los objetos que están muy lejos, y

que los muy pequeños son del todo invisibles, cualquiera que sea la distancia que los separe de nosotros. Por otra parte, como podemos ver con claridad los indicados objetos sirviéndonos de un antejo de larga vista en el primer caso y de un microscopio en el segundo, y como ni el antejo ni el microscopio producen otro efecto que el de aumentar el tamaño de las imágenes que se forman en la retina, parece lógico deducir que la limitacion de nuestra vista en las circunstancias indicadas no depende de la falta de luz, ni de la insuficiencia de los medios de acomodacion del ojo, ni de que los rayos dejen de experimentar las refracciones ordinarias hasta formar la imagen, sino de que esta imagen es demasiado pequeña para que pueda producir una impresion clara y distinta.

Se sabe, en efecto, que las dimensiones de la imagen que se forma en la retina están determinadas por el mayor ó menor grado de abertura del ángulo visual, es decir, del ángulo formado en el centro óptico del ojo por los rayos que proceden de las extremidades del objeto, y como este ángulo es tanto más pequeño cuanto menor es el referido objeto, ó cuanto más apartado está, puede ocurrir que la imagen formada en la retina sea de extraordinaria pequeñez.

Ahora, si queremos averiguar la causa de que las imágenes muy pequeñas no sean perceptibles, la cuestion ofrece mayores dificultades. Segun hemos dicho, los elementos sensibles de la retina son los conos y los bastoncillos, cuyo diámetro no excede de dos milésimos de milímetro. Es natural que cada uno de estos elementos sólo transmita al cerebro una sola impresion, en un mismo tiempo, porque de otro modo no podria percibirse con claridad, y de consiguiente es natural tambien que cuando uno de estos elementos reciba y transmita dos impresiones diferentes á la vez, la una destruya el efecto de la otra, haciendo imposible ó muy difícil la vision. Aceptada esta

base, se comprende que los objetos se vean más clara y distintamente cuando su imagen se dibuje en la fovea centralis ó en la mancha amarilla que cuando se forme en los demas puntos de la retina, porque siendo allí mucho mayor el número de elementos sensibles, y estando encargado cada uno de ellos de transmitir al cerebro la impresion de la parte de la imágen que le corresponde, no hay, por decirlo así, ningun detalle de la misma que no sea percibido. Se concibe tambien que cuando los objetos están á una distancia regular los veamos mucho mejor que cuando están lejos, porque formándose en el primer caso una imagen mayor, impresiona tambien mayor número de elementos nerviosos, y como cada uno de ellos transmite la impresion de una parte distinta de la imagen, ésta es percibida en la totalidad de las partes que la componen. En el segundo caso, cuando los objetos están lejos, la imagen que se produce es muy pequeña, y como son pocos los elementos nerviosos impresionados, son pocas las partes de la misma percibidas, resultando que su conjunto se distingue confusamente; y se comprende, por último, que cuando, por ser los objetos muy pequeños ó por estar muy lejos, formen una imagen de diámetro igual ó menor que el de los bastoncillos, es decir, de dos milésimos de milímetro ó algo menos, no pueda impresionar diferentes elementos á la vez, sino uno solo, el cual transmitirá á un tiempo las impresiones producidas por las distintas partes de la imagen, y como cuando esto sucede las unas destruyen el efecto de las otras, no será percibida ninguna y el objeto permanecerá invisible. Conviene añadir, ademas, que para percibir como distintas dos impresiones retinianas, es indispensable que los dos conos excitados estén separados á lo menos por un cono que no haya sufrido excitacion ó que haya sido excitado con menos intensidad, segun veremos al ocuparnos de las sensaciones táctiles.

Aunque esta teoría se funda en una base que no está su-

ficientemente demostrada, y aunque tampoco explica ni resuelve todas las dificultades, preciso es confesar que se acomoda á la mayor parte de los hechos que se refieren á la misma. En primer lugar, es notable la relacion que existe entre las dimensiones de la imagen *visible* y las de los elementos nerviosos de que la retina se compone; en segundo, la experiencia demuestra que los objetos no son visibles, para la generalidad de las personas, cuando tienen una dimension menor de cuatro centésimos de milímetro, en cuyo caso la imagen que forman es, con corta diferencia, de dos milésimos de milímetro, dada la distancia á que los referidos objetos se colocan para verlos distintamente y la que hay desde el centro óptico del ojo á la retina. En tercer lugar, es notable la coincidencia de que los objetos no sean visibles precisamente cuando sus imágenes tienen una dimension igual á la de los elementos sensibles de la retina, esto es, cuando por su pequeñez no pueden excitar á un tiempo más que á un solo bastoncillo; y en cuarto lugar, la experiencia demuestra igualmente que si mezclamos dos sustancias de distinto color, cuyas moléculas tengan un diámetro menor de cuatro centésimos de milímetro, no las vemos mirándolas separadamente, así como tampoco distinguimos el color correspondiente á cada una, sino el color mixto que resulta de su mezcla, cuando se hallan reunidas formando un conjunto más ó menos voluminoso.

§ 33.

Absorcion de la luz despues de formadas las imágenes.
Oftalmóscopo.—Los rayos luminosos que por su reunion en la retina contribuyen á la formacion de las imágenes, atraviesan esta membrana y caen sobre la coroides revestida de su pigmento, donde son absorbidos muchos de ellos. La porcion de los mismos, que no desaparece de este modo

y que no se transforma en *corriente fisiológica*, es reflejada y sale al exterior, con sujeción á las leyes ópticas conocidas, constituyendo lo que se conoce en Fisiología con el nombre de *resplandor ocular*, y permitiéndonos distinguir, en algunos casos, hasta el fondo del ojo con los vasos que se distribuyen en la retina.

Para conseguir esto con mayor facilidad, es preciso emplear un pequeño instrumento designado con el nombre de *oftalmoscopio*. El más sencillo de los que se conocen se reduce á un espejo, ligeramente cóncavo, que recibe la luz de una bujía para dirigirla por reflexión hácia el ojo que se examina. El espejo tiene en su centro una pequeña abertura, á través de la cual mira el observador recibiendo los rayos que vuelven reflejados por no haber sido absorbidos. Si en esta abertura se coloca una lente que amplifique los objetos, no sólo se ve el fondo del ojo iluminado, sino que se obtiene una imagen perceptible de la retina.

§ 34.

Imágenes entópticas. — Por medio del órgano de la vista no sólo se pintan en la retina las imágenes de los objetos exteriores, sino que en ciertas ocasiones se dibujan también las de los contenidos en el interior del ojo, de manera que podemos ver en nosotros mismos algunas de las partes constitutivas de nuestro aparato ocular. Las imágenes que en este caso se forman, lo mismo que las percepciones á que dan lugar, se llaman entópticas, y las principales son : la percepción de los objetos que enturbian y oscurecen los medios refringentes del ojo ; la de los vasos sanguíneos que se distribuyen en la retina y la de los glóbulos de la sangre que circula en estos vasos.

Para percibir los objetos que enturbian á veces los humores, se mira la luz difusa de la atmósfera á través de una pantalla en la que se hayan hecho con la punta de un

alfiler algunos orificios : los rayos paralelos que de este modo penetran en el ojo proyectan sombras sobre la retina, debidas á la presencia de las partes menos transparentes que han encontrado en su camino. Estas sombras son á veces fijas, y á veces, como cuando la falta de transparencia se halla en el cuerpo vítreo , cambian de lugar, conociéndose en este caso con el nombre de *moscas volantes*.

Cuando se quiere hacer visible la red vascular de la retina, se dirige la vista hácia un fondo oscuro y se coloca una luz debajo ó al lado del ojo, de manera que los rayos luminosos concentrados por el cristalino vayan á dibujarse en uno de los lados de la retina ; es decir, en un punto donde las imágenes no se forman de ordinario, puesto que el foco luminoso está muy separado del fondo visual. La luz encuentra de este modo, al atravesar la retina, la capa vascular de la misma, y la sombra que proyectan los vasos sobre el fondo más claro de la membrana de Jacob, y en un punto no acostumbrado á esta impresión, los hace perceptibles, distinguiendo entonces el sujeto en sí mismo una imagen análoga á la que se observa cuando se examina el fondo del ojo de otra persona por medio del oftalmoscopio de que ya hemos hablado anteriormente.

Para percibir uno mismo los glóbulos de la sangre en los capilares de su retina, se mira una nube blanca, ó un campo de nieve ó un fondo blanco cualquiera, vivamente iluminado por el sol y, segun asegura Beclard, cuyas palabras transcribimos textualmente, « al cabo de algun » tiempo aparecen delante de los ojos, á una distancia de » uno á dos metros, pequeños puntos brillantes, cuyo brillo es proporcionado á la claridad del plano que se contempla. El sitio en que aparecen estos puntos corresponde á las partes centrales de la retina. Los puntos brillantes se multiplican en poco tiempo y se observa que

» forman series y una especie de dibujo, siempre el mis-
» mo, siempre situado en el mismo lugar. Estos puntos
» brillantes, dispuestos en series, ejecutan movimientos en
» una direccion siempre la misma y con una misma veloci-
» dad. Cuando se cierran los ojos desaparece casi instantá-
» neamente esta apariencia. Los puntos brillantes de que
» acabamos de hablar se hallan en relacion directa con los
» glóbulos de la sangre que circulan en los vasos de la re-
» tina. Los glóbulos semitransparentes obran á manera de
» pequeñas lentes y concentran sobre los elementos de la
» retina la luz que los atraviesa. » A pesar de la ingeniosa
explicacion de M. Beclard, el fenómeno es bastante difícil
de comprender, y sólo añadiremos que por medio de las
imágenes obtenidas de este modo, conocidas con el nom-
bre de imágenes de Purkinje, es como M. Vierord ha cal-
culado que la velocidad de la sangre en los vasos capilares
es de medio milímetro por segundo.

§ 35.

Sensaciones sujetivas é ilusiones ópticas. — Cuando por
cualquiera de las circunstancias que vamos á examinar
percibimos sensaciones luminosas sin que ningun rayo de
luz haya excitado la retina, ó cuando percibimos rayos
distintos de aquellos que realmente producen la impre-
sion, las sensaciones que tienen lugar en estos casos se
llaman *sujetivas*, y los errores que ocasionan se designan
con el nombre de *ilusiones ópticas*. Esta clase de sensacio-
nes puede dividirse en cinco grupos diferentes con rela-
cion á las causas que las producen.

Las sensaciones sujetivas correspondientes al primer
grupo se deben á la excitacion de los elementos sensibles
producida por agentes internos ó por influencias exterie-
res, con independenciam completa de las vibraciones del
éter, que no intervienen para nada. La sangre, circulando

con demasiada rapidez en algunas ocasiones ó estancándose en otras en la red capilar de la retina, comprime esta membrana y puede dar lugar á que se vean ráfagas luminosas, chispas ó resplandores que no son ocasionados por la luz. Lo mismo sucede cuando, hallándonos en la oscuridad, comprimimos fuertemente el globo del ojo ó lo movemos violentamente, pues tambien aparecen imágenes luminosas sin que la luz haya penetrado en la retina. Estas imágenes, llamadas *fosfenos*, demuestran, segun hemos dicho, la sensibilidad específica del nervio óptico, y como dependen de la compresion que se ejerce sobre el mismo, suelen tener una forma análoga á la del agente compresor que las provoca. Como consecuencia de la inversion de las imágenes retinianas, el fosfeno no se presenta en el punto comprimido, sino al contrario, en el lado opuesto. El estudio de los fosfenos, es tan importante en fisiología como en oculística. En efecto, este fenómeno nos demuestra que la *energía específica* del aparato visual es precisamente la de las sensaciones luminosas. Todo excitante general que actúe sobre la retina, el nervio óptico ó los centros cerebrales adecuados, producirá un efecto perfectamente comparable al de las vibraciones del éter luminoso. Así, la seccion del nervio óptico, no da lugar á dolor, sino á una ráfaga luminosa muy intensa ; la traccion, el paso de una corriente eléctrica, etc., produce igual resultado. Desde que Magendie, durante una operacion de catarata se entretuvo en practicar varias punturas en la retina de la enferma para convencerse de que jamas se despierta dolor sino sensacion de fulgurante claridad, estos fenómenos han sido comprobados por gran número de oculistas, de tal manera, que hoy dia constituyen uno de los hechos más rudimentarios de la fisiología del órgano visual.

Sin que la circulacion sanguínea experimente cambio alguno, sino por el sólo hecho de la nutricion de la retina, aparece el *caos luminoso* del campo visual, que se nos pre-

sentada como un color grisiento, cuando tenemos los párpados cerrados. Este caos luminoso ó *resplandor de la retina* puede aumentar ó disminuir, según se active ó atenúe el movimiento nutritivo.

La traduccion en sensacion luminosa de las excitaciones que acabamos de citar, se debe, no á la retina ni al nervio óptico, sino exclusivamente á los centros encefálicos. Sea cual fuere la excitacion que á ellos llegue, ya se trate de una corriente del referido nervio óptico, engendrada en este nervio ó en la superficie retiniana, ya de una anormal excitacion que se origine en ellos mismos, lo cierto es que el sensorio aprecia estas excitaciones bajo la modalidad de *sensacion luminosa*. Por este motivo la nutricion patológica de los centros apropiados da lugar probablemente á las alucinaciones visuales.

Las sensaciones sujetivas correspondientes al segundo grupo, se deben á la persistencia ó duracion de las impresiones producidas por la luz. Excitada cualquiera de las fibras nerviosas de la retina, la impresion, como ya dijimos, no desaparece inmediatamente despues de haber dejado de obrar los rayos luminosos, sino que dura un tiempo más ó menos largo.

Esto nos demuestra que podemos ver un objeto en los diferentes sitios del espacio por donde haya pasado algunos momentos antes, y que podemos verlo al mismo tiempo en el sitio donde está. Lo vemos donde está porque desde allí nos envía sus rayos luminosos : lo vemos donde estuvo, porque la impresion que entonces nos produjo no ha desaparecido todavía. Por eso vemos una circunferencia como de fuego, si con un carbon encendido ejecutamos rápidamente un movimiento circular. Por eso un cohete deja detras de sí como un rastro luminoso. Por eso, en fin, el fantasmóscopo, el estrobóscopo, la peonza camaleon y otros juguetes parecidos, no sólo causan la admiracion de los muchachos, sino que llaman

la atencion de los sabios por la variedad de ilusiones ópticas que producen.

Segun resulta de los trabajos de d'Arcy, para que veamos una circunferencia de fuego por medio del movimiento circular de un carbon encendido, es preciso que dicha circunferencia se cierre completamente en 13 centésimos de segundo.

Hay circunstancias en que la impresion luminosa dura más tiempo, siendo éste tanto mayor cuanto más enérgica sea la intensidad de la luz y más se prolonga su accion. No es de extrañar, por lo mismo, que cuando se fija la vista largo rato en la luz de una bujía ó en una sustancia de color brillante, persista la impresion de estos objetos muchos segundos despues de que hayan desaparecido. Las imágenes que en este caso se perciben, llamadas *secundarias*, presentan la particularidad de que, en ciertas ocasiones, aparecen primero claras y despues confusas, como si la retina fatigada necesitara algunos momentos de reposo para entrar de nuevo en accion; y en otras, cambian sucesivamente de color, no de una manera caprichosa, sino alternando el que al principio tienen, con otro que le sustituye, llamado de *contraste*, y que es siempre complementario del primero. Así, cuando la imagen *secundaria* es primitivamente roja, el color de *contraste* con que alterna, es verde; amarillo, cuando violácea, y anaranjado, cuando azulada, como si fatigados los elementos de la retina que corresponden á los colores primarios, funcionaran los unos mientras reposaban brevísimos momentos los demas.

Inútil es decir que si seguimos la teoría de Héring, la explicacion de estas imágenes resulta muy distinta.

Las sensaciones subjetivas correspondientes al tercer grupo dependen de lo que se llama *imágenes por irradiacion*.

Consiste este fenómeno, en que cuando la retina recibe

una luz intensa, no sólo se impresiona en los puntos directamente puestos en contacto con los rayos luminosos, sino en las partes inmediatamente contiguas. Esta es la causa de que un círculo negro sobre fondo blanco parezca más pequeño de lo que es en realidad, y de que un círculo blanco sobre fondo negro parezca más grande. En ambos casos, la impresion producida en la retina por el color blanco, se *irradia* á las partes inmediatas, y cuanta mayor amplitud adquiere la imagen blanca, más limitado queda el espacio negro.

Cuando la luz que penetra en el ojo no es blanca, sino de color, los puntos de la retina directamente excitados por esta luz, reproducen fielmente su color; pero los que sólo están excitados por *irradiacion*, adquieren un color complementario del primero, dando lugar á que los objetos se presenten con una coloracion distinta en su fondo y en su circunferencia. Mirando un disco de color rojo aparece rodeado de una aureola verde; si es violáceo, la aureola es amarilla, y anaranjada si es azul.

Las sensaciones subjetivas correspondientes al cuarto grupo dependen de las ilusiones de coloracion que podemos experimentar, ya provengan de la falta de aptitud en la periferia de la retina para percibir las ó de la diferente excitabilidad de los elementos nerviosos destinados á recibir su impresion. Brücke ha hecho notar que la luz blanca, rápidamente intermitente, parece verde, porque la intermitencia de la excitacion no permite que sea nunca bastante duradera para excitar los elementos donde se efectúa la impresion del color rojo.

Hay, por último, las ilusiones ópticas correspondientes al quinto grupo, que dependen siempre de verdaderos errores de juicio, entre los cuales deben citarse los referentes al tamaño de los cuerpos, á su direccion, á su estado de reposo ó de movimiento y al relieve con que se nos presentan. Daremos á conocer algunas de estas ilusiones

ópticas, sin perjuicio de estudiar más adelante las demas.

Ilusiones relativas al tamaño. — Si tomamos dos cuadrados de iguales dimensiones, uno *A* compuesto de líneas paralelas horizontales y otro *A'* de líneas verticales, el primero parecerá más alto que ancho, y el segundo más ancho que alto, y ambos parecerán mayores que un tercer

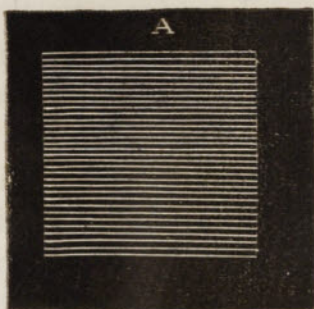


FIGURA 31.

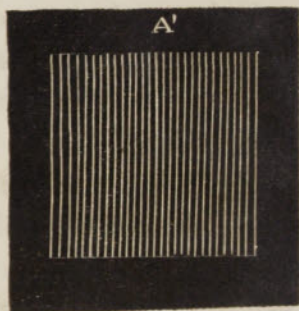


FIGURA 32.

cuadrado *A''* de dimensiones idénticas á la de los primeros. ¿Por qué motivo? Porque para calcular la dimension de cada figura, nuestro juicio, involuntariamente, toma como

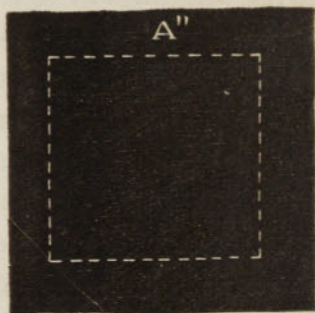


FIGURA 33.

punto de referencia el espacio que separa unas líneas de otras, y mirando estos intervalos llega á un total que nos parece superior al representado por la figura anterior. Por la misma causa nos parece que el cuadrado *A''* es menor en altura que el *A*. y en anchura que el *A'*.

Otro tanto diremos respecto á las distancias *AB* y *A'B'* de la fig. 34.