

la marcha de los rayos en las lentes; pero tambien se ha podido comprobar el hecho por la observacion directa: tomando el ojo de un animal recién muerto, y quitándole las capas de grasa que envuelven exteriormente el globo, puede adelgazarse la córnea opaca por su parte posterior hasta que queda traslúcida; preparado el ojo de esta suerte y expuesto á la luz del día, deja ver por transparencia la imagen reducida y muy clara de los objetos externos; tambien se puede ver la imagen invertida de una bujía al través de la córnea de los animales albinos, córnea que es naturalmente traslúcida por la falta de pigmento colorante.

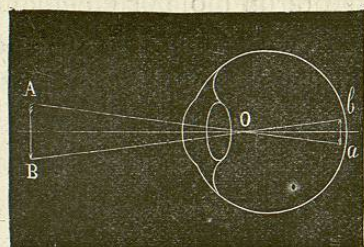


Fig. 180.—Formacion de las imágenes en un ojo normal

comprobarse con un espejo que se tiene en la mano y en el cual se fija la mirada; á cierta distancia se examina el diámetro de la pupila, y aproximando luego rápidamente el espejo sin dejar de mirar la pupila, se observa que ésta se contrae con lentitud.

Asimilado el ojo á un sistema de lentes, puede parecer raro que sirva para ver con claridad tal profusion de objetos situados á distancias tan variables. Es indudable que para que la vision sea distinta, la imagen del objeto ha de pintarse con claridad en la misma retina, y por consiguiente es preciso que al cambiar la distancia pueda cambiar asimismo el foco, de manera que coincida siempre con la superficie de la membrana nerviosa. En efecto, si se pinta la imagen distinta de un punto luminoso, ya sea delante ó ya detrás de la retina, sucede lo mismo que se observa con una lente convergente cuando se recibe la imagen delante ó detrás del foco correspondiente, esto es, que en lugar de un punto claro y definido, se ve un círculo difuso. De aquí resulta «que no podemos ver distintamente y á la vez varios objetos situados á diferentes distancias del ojo.» Para convencerse de ello, dice Helmholtz, basta poner á unas seis pulgadas del ojo un velo ó cual-

Hemos dicho que el iris desempeña las funciones de un diafragma que no deja penetrar en el ojo sino los conos de luz que tienen por base la abertura de la pupila; pero el iris se puede contraer ó dilatar espontáneamente, por manera que la pupila se reduce ó se agranda. Este movimiento automático se produce en el primer sentido cuando crece el resplandor de la luz que recibe el ojo, y se efectúa en sentido contrario cuando este resplandor mengua. Lo mismo sucede cuando el ojo contempla objetos situados á varias distancias; la pupila se dilata cuando se miran los lejanos, y se contrae cuando la vista se fija en los próximos. Esto puede

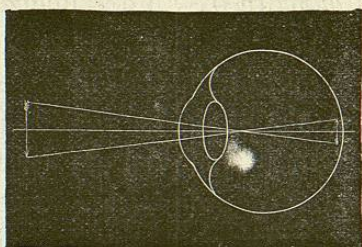


Fig. 181.—Formacion de la imagen en el ojo de un presbite

quier otro tejido transparente; y más lejos, como á dos piés de distancia, un libro. Cerrando un ojo para simplificar el experimento, es fácil cerciorarse de que se puede mirar como se quiera, ya los hilos del velo ó ya las letras del libro, y verlas claramente, pero tambien se nota que las letras se tornan confusas cuando se miran los hilos del velo, y que si se contemplan aquellas, el velo aparece como un oscurecimiento ligero y uniforme del campo visual. Si, sin cambiar la direccion de la vista, se examina, ora el objeto próximo, ora el más apartado, nótese que á cada una de estas alternativas el ojo hace un esfuerzo para efectuar el cambio.» (*Optica fisiológica.*)

Este hecho se expresa diciendo que el ojo se acomoda á las distancias; pero ¿por medio de qué mecanismo conserva el ojo de tal suerte su propiedad de percibir distintamente los objetos? En una palabra, ¿cómo se hace la acomodacion? Para las distancias cortas, por la contraccion de la pupila, y para las grandes, por un cambio en la forma del cristalino que disminuye su poder convergente; tales son los dos movimientos sometidos á nuestra voluntad, pero que tambien se efectúan sin que tengamos conciencia de ello, y con cuyo auxilio

explican los físicos la adaptacion de que hablamos.

Hay un límite inferior para la distancia de los objetos que procuramos ver distintamente; este límite es el de la *vision distinta ó punctum proximum*, que varía segun las edades entre 15 y 20 centímetros. El punto más remoto (*punctum remotum* ó más bien *remotissimum*) es infinito para ciertas vistas; mas con otras no sucede así, y se ha de apelar á los anteojos de larga vista para ver objetos algo distantes.

Cuando los músculos del ojo se hallan en estado de reposo, ó si se quiere, cuando no hacen ningun esfuerzo de acomodacion, la vision distinta es la que corresponde al *punctum remotum*; los ojos para los cuales este punto no tiene límites son los *normales ó emetropos* (1).

Los ojos para los cuales el *punctum remotum* no se halla á distancia infinita, no pueden acomodarse á contemplar objetos cuya distancia es mayor que la de dicho punto, y se les da el nombre de *braquimetros* ó *miopes*. No pueden reunir en la retina sino los rayos luminosos que son divergentes en su punto de incidencia.

Dáse además el nombre de *hipermetros* á los ojos cuya distancia focal es mayor que la del cristalino á la retina, de suerte, que, sin hacer un esfuerzo fatigoso de acomodacion, no pueden ver distintamente ni aún los objetos más apartados, ni los perciben con claridad á cualquier distancia que sea.

Por último, la conformacion del ojo puede ser tal que el límite de la vision directa supere al de que hemos hablado ántes. Esta afeccion, que se nota más especialmente en las personas de edad, las obliga á separar á bastante distancia el libro que quieren leer para poder hacerlo sin confundir las letras; lo cual depende de que la imagen va á formarse más allá de la retina (fig. 181), de suerte que la convergencia de los rayos emanados de un punto luminoso no tiene lugar en esta membrana, y por lo tanto la impresion es confusa. Alejando el objeto, se aproxima el foco y la vision se hace distinta. Las personas afectadas de este defecto en la vista son las *presbites*, atribuyéndose la presbi-

(1) De *emmetros*, en la medida y of, ojo. Aquí se trata solamente de la *vision distinta*; pues puede haber ojos *emetropos* que tengan defectos por otros conceptos.

cia á una disminucion del cristalino ó á una rigidez que no le permite adaptarse á las distancias cortas, y tambien á un aplanamiento del globo del ojo de delante á atrás.

Los *miopes* tienen el defecto contrario: la distancia de la vision distinta es mucho más corta para estos que para los individuos dotados de vista normal; y á grandes distancias la vision es siempre confusa, lo cual consiste en que, por razones opuestas á las que producen la presbicia, el foco ó la imagen de un punto luminoso se forma delante de la retina (fig. 182). Las causas más frecuentes de la miopía son una exagerada convexidad del cristalino ó una prolongacion del globo del ojo: las personas que por su profesion ú ocupaciones tienen que mirar de cerca objetos pequeños suelen padecer esta enfermedad de la vista.

El ojo no es acromático, como se creyó en un principio: pero la dispersion que se produce en sus distintos medios es casi insensible.

Muchos físicos han tratado de averiguar por qué pintándose las imágenes invertidas en la retina, las vemos en sus posiciones reales, esto es, derechas. Para explicar esta singularidad aparente se han emitido varias hipótesis más ó menos ingeniosas, pero que, á nuestro juicio, carecen de sentido, puesto que la cuestion en sí no significa nada. En primer lugar, la imagen que se pinta en la retina no es para nosotros un objeto que examinamos como si aún tuviéramos otro ojo detrás de dicha membrana; pues á decir verdad, los objetos exteriores y nosotros mismos, nuestro propio cuerpo, los vemos en sus posiciones relativas exactas: esto es cuanto necesitamos, y cuando decimos que vemos un objeto, un árbol por ejemplo, derecho y no al revés, esto tan sólo significa que su cabeza nos parece como elevada al aire y los piés tocando al suelo, absolutamente en el mismo sentido que nuestra propia cabeza y nuestros piés en nuestra posicion normal.

Si, por una disposicion particular de nuestro ojo, análoga á la de ciertas lentes, las imágenes se formaran derechas en la retina, es casi indudable que nuestra percepcion en nada cambiaria; para que otra cosa ocurriera seria necesario exceptuar la imagen de nuestro cuerpo, lo cual no es admisible.

II

PERSISTENCIA DE LA IMPRESION LUMINOSA

La impresion que produce la luz en la retina, la sensacion que de ella resulta no cesan tan luégo como deja de obrar la causa que las da origen. En una palabra, la accion de la luz puede ser sumamente breve, pero la sensacion persiste algun tiempo, cuya duracion depende de la intensidad de la luz á la vez que del estado de cansancio del ojo.

Fáciles son de observar los hechos que prueban esta persistencia: cítemos algunos.

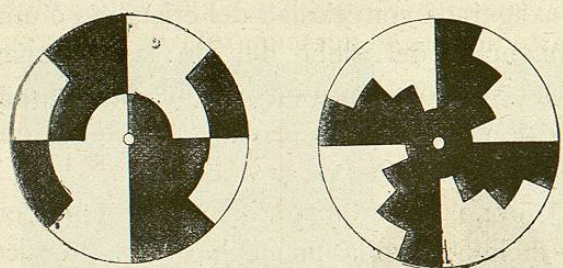


Fig. 183. — Discos rotatorios; experimentos sobre la persistencia de las impresiones luminosas

Cuando se dirige la vista á un objeto muy brillante, muy luminoso, al Sol, por ejemplo, y en seguida se cierran los ojos bruscamente, ó lo que es lo mismo, si se aparta la vista para mirar un fondo oscuro, se sigue viendo algun tiempo la imagen brillante del disco. Esta imagen *positiva* se amortigua rápidamente y desaparece para ceder el puesto á otras imágenes *accidentales* de las que diremos despues algunas palabras. Pero no es menester que el objeto contemplado tenga una luz tan intensa como la del Sol. Por ejemplo, si desde el interior de una habitacion se mira la luz difusa del dia que penetra por una ventana, y luégo se cierran de pronto los ojos, se ve cómo persiste distintamente la imagen de los rectángulos luminosos formados por los vidrios y limitados por las líneas oscuras de la vidriera.

Tambien es fácil comprobar de otro modo esta persistencia de la impresion luminosa. Basta mover con rapidez un punto brillante, como la punta de una vara quemada, para que se vea, en lugar de una serie de puntos luminosos aislados, una línea de fuego continua. Esta línea se convierte en un círculo, en una curva cualquiera, si se imprime un movimiento circular al extremo de la vara, ó si se la hace

describir la curva en cuestion. Los rastros luminosos de los cohetes en los fuegos artificiales, los de las estrellas fugaces, reconocen en gran parte por causa la duracion de la impresion luminosa en la retina; decimos *en gran parte*, para que no se confunda la línea de fuego con el rastro, á veces persistente y probablemente material, que se observa despues de la desaparicion de ciertos bólidos.

Nótase el mismo fenómeno, si estando inmóvil el punto luminoso, se comunica el movimiento á un espejo que refleje su imagen. Hemos visto á Lissajous combinar las reflexiones en dos espejos formando ángulo recto para estudiar las vibraciones de dos diapasones y para comparar los tonos de los sonidos que estos producen. Las curvas ópticas obtenidas de este modo son indudablemente efecto de la persistencia de las impresiones luminosas sucesivas. Wheatstone habia sacado ya partido de esta persistencia con el *Kaleidófono* para estudiar los movimientos vibratorios de una varilla en cuya extremidad habia fijado una bolita de cristal: el punto luminoso formado por la reflexion de la luz del dia ó por la de un quinqué en este espejo esférico se convertia en curvas continuas cuyas sinuosidades marcaban los cambios de posicion ó las oscilaciones de la varilla. Tambien es la persistencia en cuestion la que nos hace ver una cuerda en vibracion hinchada por su parte media, y la que nos impide ver los rayos de una rueda en movimiento, cuando la rotacion es bastante rápida para que la sensacion sea continua.

Se pueden definir los hechos que acabamos de describir sucintamente, diciendo con Helmholtz que «las impresiones luminosas repetidas con suficiente rapidez producen en la vista el mismo efecto que una iluminacion no interrumpida.» Esto es cierto relativamente á la luz considerada, no tan sólo por lo que atañe á la intensidad, sino tambien al color. El experimento del disco giratorio como lo hizo Newton y que dejamos descrito en el capítulo VII, demuestra claramente cómo se sobreponen, ó mejor dicho, cómo se mezclan las sensaciones sucesivas de distintos colores cuando su sucesion es bastante rápida, y producen la sensacion de un solo color que es la síntesis de los colores componentes.

Se ha procurado valuar la duracion de la persistencia luminosa. D'Arcy, en el siglo pasado, Aimé en el actual, y despues Plateau han hecho con tal objeto algunas series de experimentos por diferentes métodos. El primero dedujo que dicha duracion era de 0^s,13. El método de Aimé consistia en hacer girar en sentido contrario dos discos armados en un mismo eje, uno de los cuales tenia en su contorno una porcion de agujeritos equidistantes é iguales, al paso que el otro disco no tenia más que uno. Miétras la rotacion es lenta no se ve á la vez más que una abertura luminosa, cuando el único agujero del segundo disco pasa por delante de los otros; pero si el movimiento

es bastante rápido se ven dos, tres, cuatro aberturas luminosas á la vez, lo cual sucede tan luégo como la duracion de la impresion excede del tiempo que transcurre entre dos, tres ó cuatro coincidencias de los agujeros. Así se ha podido medir esta duracion comprobando la velocidad de rotacion, y estudiar además varias circunstancias del fenómeno.

Así tambien es como Plateau ha probado que la luz necesita cierto tiempo para que la sensacion sea completa y llegue á su máximo, y que este máximo dura, ántes de disminuir, tanto más cuanto más débil es la impresion.

Aparte de esto, la duracion total de la impre-

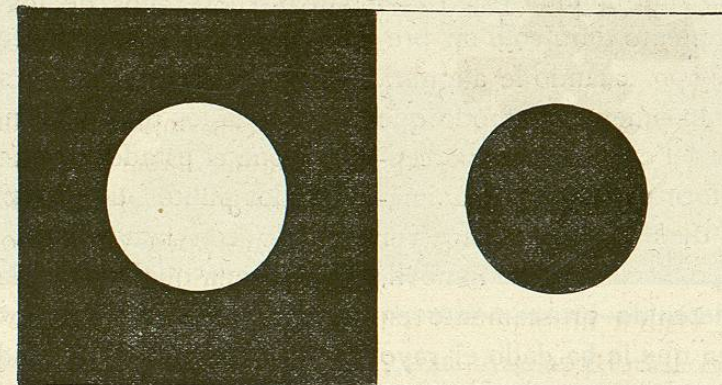


Fig. 184. — Fenómenos de irradiacion

sion crece con la intensidad de la luz, siendo por término medio de 0^s,84.

Dando vueltas á un disco de carton dividido en 24 sectores alternativamente blancos y negros, ó blancos y de colores, ha reconocido Plateau que la velocidad de rotacion necesaria para que en el disco resultara una tinta gris ó un color uniforme depende de la intensidad de la luz, y tambien de la especie de color de que están teñidos los sectores. Subsiste la misma tinta, si la proporcion entre la superficie de los sectores blancos y la de los sectores negros permanece constante. Así se demuestra mediante el disco giratorio representado en la figura 183, en el que la superficie del círculo está dividida en tres zonas diferentes: la central, formada por un semicírculo blanco y otro negro, da el mismo color gris que la zona siguiente, cuya superficie está dividida en cuatro segmentos, y que el anillo exterior dividido en ocho partes alternativamente blancas y negras. Sólo que la velocidad de rotacion necesaria para que cada zona sea uniforme, va creciendo

del contorno del disco al centro. Bastan seis revoluciones por segundo para obtener la uniformidad del anillo externo, doce para el anillo medio y veinticuatro para el círculo central. Cuando esta velocidad es suficiente para el último, el disco parece teñido uniformemente. Por el contrario, si el número de sectores continúa siendo el mismo, se puede cambiar la relacion de anchura de los sectores blancos y de los negros sin que cambie la velocidad necesaria para la uniformidad, de lo cual es fácil cerciorarse merced á un disco dispuesto como el segundo círculo de la fig. 183, cuyos sectores blancos van ensanchándose desde el centro á la circunferencia.

Cuando un cuerpo se mueve con cierta rapidez, la vista no puede distinguir con claridad su forma ni sus detalles. Para ello seria menester que el eje óptico pudiera cambiar de posicion tan de prisa como el objeto, á fin de que la imagen de éste se formara siempre en los mismos puntos de la retina; mas como esto suele ser imposible, la imagen misma es la que cam-