

Si se tiene ahora en cuenta que el rayo luminoso atraviesa al penetrar en el ojo la superficie anterior de la córnea y la anterior y posterior del cristalino ; que los radios de curva de estas superficies son : el de la anterior de la córnea de 8 milímetros ; el de la anterior del cristalino de 10 ; el de la posterior del mismo cristalino de 6 ; y, por último, que entre la superficie anterior de la córnea y la anterior del cristalino media una distancia de 4 milímetros, de otros 4 entre la superficie anterior y la posterior del cristalino, y de 13 próximamente entre la posterior del cristalino y la retina, puede deducirse fácilmente por el cálculo el punto donde se encuentra el centro óptico del ojo, considerado como lente refringente *compuesta*, y el punto correspondiente al foco de esta lente.

Sin entrar en detalles que no son indispensables, diremos que, segun Listing y Helmholtz, el centro óptico del ojo se halla situado en su eje antero-posterior y en el interior del cristalino, en un punto próximo á su cara posterior. El foco coincide con la retina, hecha abstraccion de los casos en que es precisa la acomodacion del ojo para que esto se consiga, segun veremos más adelante.

Con estos datos, considerando el aparato ocular como un instrumento de física, sus diferentes medios transparentes, córnea, humor acuoso, cristalino y cuerpo vítreo, como una lente convergente compuesta, y determinadas además las posiciones matemáticas del centro óptico y del foco de esta lente, es fácil darse cuenta de la marcha de los rayos luminosos y de la formacion de las imágenes, con sólo recordar las leyes á que está sujeta la luz al atravesar las lentes convergentes.

En efecto, en la lente ocular, lo mismo que en las lentes ordinarias, la refraccion obedece á idénticos principios : los rayos incidentes que pasan de un medio menos refringente á otro más refringente, se acercan á la perpendicular tirada sobre el punto de incidencia ; los rayos

cuyas prolongaciones pasan por el centro óptico no cambian de direccion, y á semejanza de lo que entonces dijimos, se llama eje principal del ojo á la recta indefinida que pasa por el centro de la córnea y por el centro óptico, y eje secundario á toda recta que pasa por este centro sin tocar el de la córnea.

Por lo mismo, si el punto luminoso se halla sobre el eje principal del ojo, todos los rayos que caen oblicuamente sobre la córnea—considerada segun hemos dicho, como continuacion del humor acuoso, puesto que tiene el mismo índice de refraccion—se refractan acercándose á la perpendicular levantada en el punto de incidencia, por pasar del aire á otro medio más refringente, y de consiguiente se aproximan al eje principal. De estos rayos, unos encuentran en su camino la cara anterior del iris, y son re-

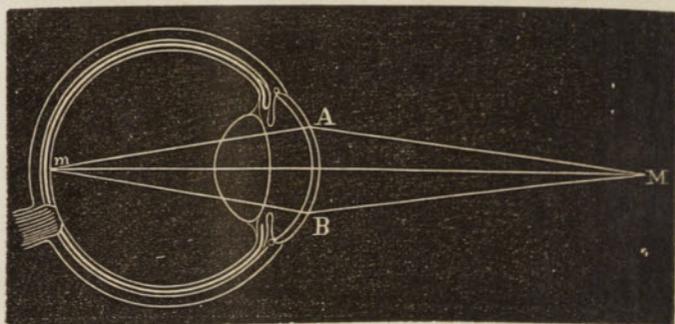


FIG. 15.—Mm, eje principal.—M, punto luminoso sobre el eje principal.—MA y MB, rayos que caen oblicuamente sobre la superficie de la córnea.—Am y Bm, los mismos rayos refractados que se juntan al llegar al eje principal.—m, foco conjugado.

chazados al exterior con arreglo á las leyes de reflexion, y otros atraviesan la pupila y se ponen en contacto con el cristalino. Al llegar á este punto, como el cristalino es más refringente que el humor acuoso y que la córnea, se refractan de nuevo acercándose á la perpendicular levantada sobre el punto de incidencia, y por lo mismo acercándose aún más al eje principal. De este modo llegan hasta la superficie posterior del cristalino, y como desde este punto pasan al cuerpo vítreo, que es menos refrin-

gente, sufren una nueva refraccion, alejándose, en este caso, de la perpendicular levantada en el punto de incidencia, pero *aproximándose tambien al eje principal*, donde se reunen en foco conjugado, formando la imagen del punto de que proceden.

Cuando la luz procede á la vez de los diferentes puntos que constituyen un objeto, el hacecillo divergente que cada uno de estos puntos emite, forma sobre su eje secundario, despues de la refraccion, un foco separado, segun hemos indicado ya ; y como cada uno de estos focos representa el punto de que el hacecillo de luz procede, el conjunto de todos estos focos representa la imagen total del objeto luminoso. Ademas, como los ejes secundarios se cruzan en el centro óptico, resulta la imagen invertida, lo mismo en el aparato ocular que en las lentes ordinarias.

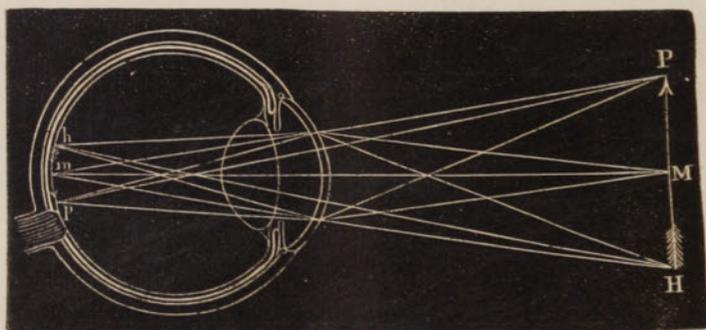


FIG. 16. — FMH, hacecillos de luz que proceden de diferentes puntos de un mismo objeto luminoso. — P, foco donde se reunen los rayos del hacecillo P sobre el eje secundario que pasa por el centro óptico. — m, foco donde se reunen los rayos del hacecillo M sobre el eje principal. — h, foco donde se reunen los rayos del hacecillo H sobre el eje secundario que pasa por el centro óptico. — pmh, conjunto de focos que pintan sobre la retina la imagen invertida.

La explicacion que acabamos de dar acerca de la marcha de los rayos luminosos y de la formacion de las imágenes en la retina, se halla confirmada por un experimento de Kepler, que han repetido despues todos los fisiólogos. Si se adelgaza la parte posterior de la esclerótica de un ojo de buey, quitando las capas superficiales hasta dejarla transparente ; si se la engasta en el orificio de una pantalla opaca, y se coloca delante del ojo así preparado

una luz cualquiera, la imagen de esta luz se pinta invertida en la retina y puede verse por el observador, si se pone detras de la pantalla, á través de la esclerótica.

Angulo visual. — Campo visual. — Agudez visual.

§ 9.º

Se llama ángulo visual, al formado por dos líneas, que partiendo cada una de ellas de una de las extremidades del objeto que se mira, se juntan en el punto nodal del ojo, prolongándose despues hasta llegar á la retina.

La abertura de este ángulo depende de la distancia á que se encuentran los objetos y de su tamaño.

En efecto, la figura siguiente, nos demuestra qué objetos de tamaños diferente, 1, 2, 3 y 4, forman sin embargo, un mismo ángulo visual v , si están colocados á distancias diferentes.

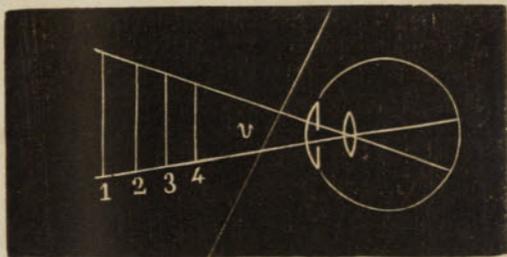


FIGURA 17.

La fig. 18 demuestra por el contrario, que si los objetos

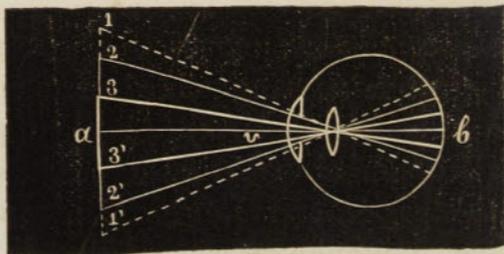


FIGURA 18.

están colocados á una distancia fija $a b$, el ángulo visual

de los mismos v , es mayor á medida que es más grande su tamaño 1, 1', 2, 2', 3, 3'.

La fig. 19 manifiesta por último, que *un mismo* objeto a , puede ser visto bajo *diferentes ángulos visuales*, segun se aleje (a'), ó se acerque (a'') al ojo del observador.

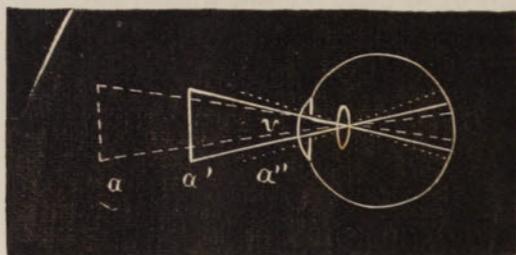


FIGURA 19.

La noción del ángulo visual tiene una importancia considerable para determinar el tamaño de las imágenes en la retina, y para averiguar en que consiste que cuando estas imágenes son muy pequeñas, no sean los objetos perceptibles, segun tendremos ocasion de examinar más adelante.

Campo visual.—*Manera de determinarlo.*—Distinguese este campo, segun se mire el espacio con uno ó con ambos ojos. Se designa con el nombre de *campo visual monocular*, la extension de espacio, que estando el ojo y la cabeza inmóviles, puede ser visto por el ojo referido. Para determinar este campo, se fija un punto sobre una pizarra, y por medio de un pedazo de yeso, se va pintando toda la extension que abarca. El campo visual termina en donde cesa la percepcion de los objetos. La explicacion del campo visual *binocular*, hallará cabida en el capítulo referente á la vision de este nombre.

Agudez visual.—Es la facultad mayor ó menor que tiene el ojo, para distinguir con toda limpieza y precision las imágenes de objetos más ó menos próximos. En el terreno práctico se podría definir esta agudez, diciendo

que es la aptitud variable en los diferentes individuos, de distinguir á lo *lejos* y *claramente* dos puntos luminosos, separados entre sí por un pequeño espacio. Esta aptitud, como decimos, es distinta en los diferentes sujetos, aumentando cuando el ángulo visual disminuye, y disminuyendo cuando el ángulo visual aumenta.

CAPÍTULO IV.

Acomodacion del ojo á las distancias.

§ 10.

Cuando empleamos una cámara oscura, instrumento que se parece mucho al aparato de la vision, puesto que tambien se compone de una lente convergente que imita al cristalino y de una pantalla donde se pintan las imágenes invertidas, lo mismo que en la retina, es necesario, para que la imagen sea clara, que la referida pantalla se coloque en el foco mismo del instrumento, es decir, en el punto donde convergen y se reunen los rayos refractados por el objetivo. Y como este foco se aproxima á la lente cuando los objetos se alejan, ó se separa cuando se acercan, dentro de ciertos límites, segun hemos indicado anteriormente, es indispensable, si queremos que la imagen se pinte siempre con claridad, acercar la pantalla al objetivo cuando los objetos están lejos, ó alejarla cuando están cerca, único medio de que coincida con el vértice de los conos luminosos refractados.

En el ojo, la marcha de los rayos luminosos está sujeta á las mismas leyes ; y como la retina no puede cambiar de lugar, ni aproximarse ó separarse del cristalino segun lo exija la posicion respectiva de los objetos ; como por otra parte nosotros los vemos con la misma claridad aun

cuando se hallen colocados á distancias muy diferentes, y como esto supone que la imagen coincide siempre con la superficie de la retina, porque sólo esta membrana puede recibir la impresion de la luz, es absolutamente preciso que en el globo ocular se produzca alguna modificacion en virtud de la cual el foco se forme constantemente en el mismo sitio, cualquiera que sea la distancia á que se hallen los objetos. Al cambio que en este caso experimentan las partes constitutivas del ojo es á lo que se llama *acomodacion*. Pero este cambio, ¿es absolutamente indispensable como nosotros acabamos de suponer? Algunos autores aseguran lo contrario y conviene averiguar en qué se fundan. Segun Magendie, si se coloca una luz delante del ojo de un conejo albino y se mira á traves de la esclerótica, que en estos animales es casi transparente, se ve pintada la imagen en el fondo del ojo, lo mismo cuando se aparta que cuando se aleja la luz, y como no es posible cambio fisiológico de ninguna clase en este órgano despues de separado del animal y de haber perdido su vitalidad, deduce que no se necesita para nada la acomodacion. Nosotros, sin embargo, no hemos obtenido los mismos resultados que Magendie, pues cuantas veces hemos repetido el experimento sólo hemos visto una imagen confusa, cuyo sitio no nos ha sido posible precisar.

M. Du-Haldat cree tambien que la acomodacion no es necesaria, porque habiendo hecho servir el cristalino de un buey de objetivo de una cámara oscura, ha observado que las imágenes se pintaban en el mismo sitio, cualquiera que fuera la distancia de los objetos. A pesar de todo, es fácil demostrar, repitiendo este experimento, que cuando los objetos están lejos, sólo se forman imágenes claras acercando la pantalla al objeto y alejándola cuando están cerca.

Otros fisiólogos sostienen que no es indispensable que las imágenes se formen en la superficie misma de la reti-

na, porque esta membrana recibe la impresion con sólo que se dibujen en un punto cualquiera del cuerpo vítreo. Pero si las imágenes pudieran impresionar la retina á *distancia*, con mayor razon la impresionarían los objetos de que proceden, y en este caso de nada servirían las indicadas imágenes ni los diferentes medios refringentes del aparato de la vision.

No es más aceptable la opinion de Sturm, el cual, fundándose en que los medios refringentes del ojo están terminados por curvas parabólicas, deduce que los rayos refractados forman dos focos, quedando entre uno y otro un pequeño espacio ocupado por hacecillos luminosos que bastan para formar una imagen suficientemente clara si en alguno de los puntos de su longitud coinciden con la retina.

Los autores que acabamos de citar no son los únicos que participan de estas ideas ; pero, á pesar de todo, hay ciertos hechos sencillísimos y fáciles de comprobar que demuestran, en nuestro concepto, la necesidad de la acomodacion.

Si se clavan dos alfileres, alineados á distancias diferentes en una regla horizontal, mirando la que está más cerca, se la distingue perfectamente, mientras que la más distante aparece nebulosa, porque, acomodado el ojo á la distancia á que se encuentra la primera, la imagen de la segunda no puede formarse en la retina sino por *círculos de difusion*. Si en vez de fijar la vista en la que está más próxima la fijamos en la que está más lejos, el ojo se acomoda á la distancia en que esta última se encuentra y la vemos con toda claridad, mientras que la otra apenas se distingue, porque su foco no coincide con la retina.

Si se mira detenidamente durante mucho rato un objeto muy próximo, la vista se cansa por el esfuerzo de acomodacion que es preciso efectuar, como sucede cuando miramos con el microscopio, y no sólo se cansa, sino que es

preciso que pase algun tiempo para ver con claridad los objetos lejanos, ó lo que es igual, para que se pueda efectuar el nuevo trabajo de acomodacion que en este caso se necesita. Los relojeros, los grabadores y las demas personas que se sirven de una lente convergente para distinguir mejor los pequeños objetos sobre que tienen que fijar la vista, acomodan de tal modo el ojo para las distancias cortas, que llegan á ser miopes, es decir, que tienen que aproximar mucho los objetos para verlos con claridad, porque la facultad de acomodacion para las distancias largas desaparece casi por completo.

Otro experimento hay con el cual no sólo se demuestra la acomodacion, sino las causas de que depende. Si se coloca una luz delante de un sujeto, á cierta distancia de su vista, y se le miran los ojos, se ven en cada uno de ellos tres imágenes de la llama : la primera, natural, formada por la reflexion de algunos rayos luminosos al llegar á la superficie anterior de la córnea ; la segunda, natural tambien, formada por la reflexion que sufren otros al llegar á la superficie anterior del cristalino, y la tercera, brillante é invertida, formada por la reflexion que tiene lugar en su superficie posterior. En tal estado, se hace que el sujeto fije la vista en un objeto cercano, y entonces la segunda imagen disminuye de volumen y se acerca á la primera, lo que indica que la superficie anterior del cristalino adquiere mayor convexidad y se inclina hácia adelante. Lo contrario sucede si el sujeto fija la vista en un objeto lejano, cuya circunstancia demuestra indudablemente que hay cambios de forma en los medios refringentes del ojo para acomodarse á las diferentes distancias, y que estos cambios consisten en que el cristalino aumenta de convexidad en la vision proxima y se aplana cuando la vista se dirige á lo lejos.

Acaso se dirá que no debe ser ésta la causa principal de la acomodacion, puesto que los operados de catarata

pueden ver á distancias diferentes, á pesar de la destrucción del cristalino ; pero si se tiene en cuenta que, aun en el caso de recobrar la vista, es siempre más ó menos imperfecta, porque no se forman las imágenes en la retina sino por círculos de difusión, podremos asegurar con M. Graefe, que cuando falta el cristalino ó cuando se hace más denso á consecuencia de la edad, el ojo no puede acomodarse á las diferentes distancias, y de consiguiente, que la vista pierde su ordinaria claridad.

Causas á que se deben los cambios de forma que experimenta el cristalino.

§ 11.

Los cambios de forma que el cristalino experimenta se deben á la acción del músculo tensor de la coroides, llamado también ciliar y músculo de Brücke, compuesto de dos órdenes de fibras, las unas radiadas y las otras circulares. Estas últimas rodean el borde del cristalino ; las radiadas se insertan, por delante, en el punto donde la membrana de Descemet pasa de la córnea al iris, se unen después á los procesos ciliares y se pierden por detrás en las capas exteriores de la coroides. Al contraerse estas fibras radiadas, estiran la coroides hácia delante, comprimiendo en el mismo sentido el cuerpo vítreo y el cristalino ; pero como éste no puede hacerse sitio con libertad, y como, por otra parte, las fibras circulares le comprimen también por su borde, aumenta la convexidad de su cara anterior, y de consiguiente, su diámetro. El mismo pensamiento expresa Helmholtz cuando dice que el cristalino se aplana ó se hace convexo según que la zona de Zinn esté distendida ó relajada por la acción del músculo ciliar.

Podemos aumentar ó disminuir el poder acomodador del ojo dirigiendo directamente nuestra acción sobre el músculo de Brücke. Así, los colirios de atropina y de du-

boisina *paralizan* la acomodacion, y los colirios de calabarina, de eserina y de estricnina, *vencen esta parálisis*; la cocaína ocasiona una simple paresis que cesa ántes de las veinticuatro horas, de modo que dilata la pupila sin paralizar la acomodacion, lo cual le da grandes ventajas para efectuar el exámen oftalmoscópico.

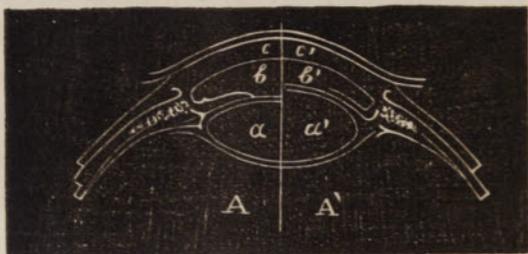


FIGURA 20.

Las modificaciones que experimenta el cristalino durante la acomodacion vienen indicadas en la fig. 20. En efecto, la mitad A representa el cristalino (a), el iris (b) y la córnea (c) en estado de reposo, ó sea durante la relajacion del músculo ciliar, y la mitad A' estas mismas partes (a' b' c') en acomodacion para los objetos próximos, ó sea durante la contraccion del músculo indicado.

La acomodacion ó adaptacion del ojo es completamente involuntaria y depende, al parecer, de un fenómeno reflejo. La confusion con que se percibe la imagen cuando hiere á la retina por círculos de difusion, provoca una accion refleja sobre los músculos ciliares que ocasiona su contraccion. Las fibras de estos músculos son lisas, y de consiguiente, se contraen con cierta lentitud. El ganglio oftálmico se ha considerado como el *centro* de estos reflejos; pero parece más probable que tenga su asiento en los túberculos cuadrigéminos.

Emetropia.—Punctum proximum y punctum remotum.—Optometría.

§ 12.

Llámase ojo *emetropo*, de ἑμετρος, conforme á la medida normal, el ojo verdaderamente fisiológico. En él los rayos procedentes del infinito, paralelos, forman un foco en la misma retina. Esta definicion es, sin embargo, demasiado absoluta, pues los rayos procedentes de un objeto separado por una distancia de 65 metros pueden considerarse como sensiblemente paralelos, y forman un foco en la retina, sin que sea necesaria la acomodacion.

Desde el momento en que la distancia sea menor de 65 metros, es indispensable que el ojo se *acomode* para la vision distinta del objeto, y cuando éste, para ser visto distintamente, no se puede aproximar ya más, el punto en que se encuentra, se llama el *punctum proximum*. Dicho punto, para un ojo normal, está situado á la distancia de 0,12 metros, que se cuentan desde el punto luminoso que se mira hasta el ojo del observador.

De ahí se deduce que el *punctum proximum* coincide con el máximo de refringencia de los medios oculares y con el límite de la acomodacion.

El *punctum remotum*, al contrario, coincide con el mínimo de refringencia de los medios oculares y con la falta de acomodacion.

El *punctum proximum* y el *punctum remotum* se determinan por medio de los procedimientos optométricos. Entre los diferentes optómetros que existen, sólo haremos mencion de las *escalas tipográficas*, de los hilos movibles sobre una regla graduada, y del optómetro de Stampfer, que se funda en el experimento de Scheiner, relativo á la vision simple de una línea luminosa mirada por dos hendiduras paralelas. En cambio describiremos el optómetro

de nuestro distinguido amigo el Dr. Carreras Aragó, no sólo por que sirve para la apreciacion de los puntos próximos y remotos, sino tambien por que, al igual de los optómetros más perfeccionados, puede dar á conocer los diferentes grados de astigmatismo.

Optómetro del Dr. Carreras Aragó.—Este instrumento al igual de los de Hasner, de Graefe, Badal, Sous, etcétera, está formado por un tubo graduado, al traves del

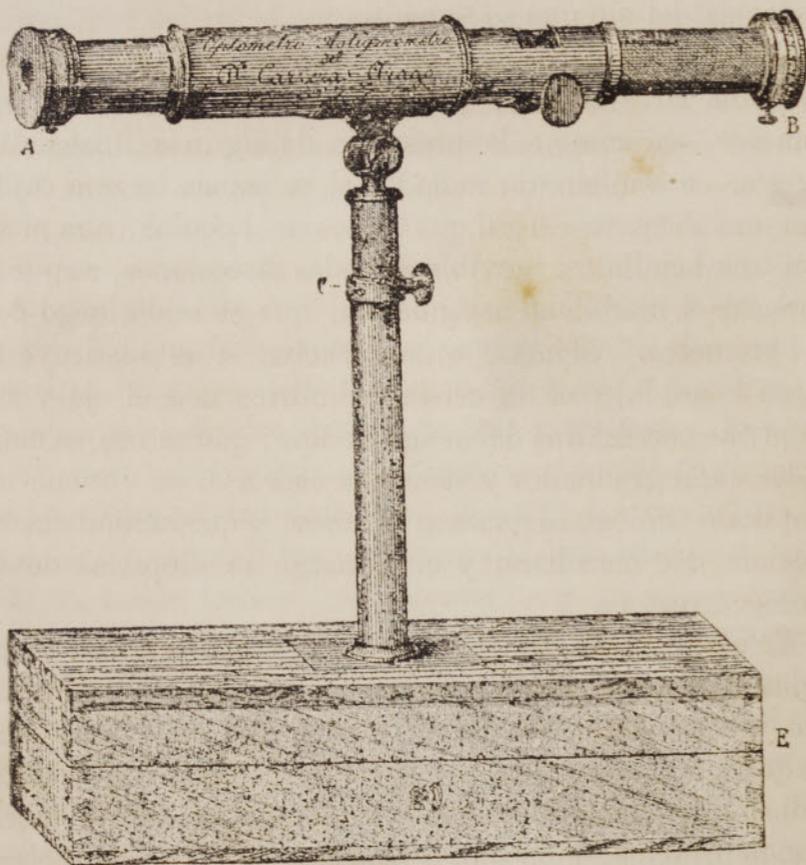


FIGURA 21.

cual se deslizan las escalas visuales reducidas en tamaño del mismo Sr. Carreras, que se examinan al traves de una lente fija, colocada á una distancia del ocular, precisamente igual

á su distancia focal. Como la placa que contiene las escalas puede situarse á todas las distancias posibles, desde la lente á la extremidad posterior del tubo fijo, los rayos convergentes de dicha lente pueden ofrecer al llegar al ojo del observador todos los grados de convergencia ó de divergencia, correspondientes á los diferentes grados de refraccion desde + 15 á — 20 dioptrías, lo que se conoce por la graduacion del instrumento grabada en el tubo, apreciándose de este modo los grados de miopía ó de hipermetropía del ojo que se examina.

Debido á la disposicion de las letras y signos de las escalas del Dr. Carreras, que figuran en el objetivo del optómetro, así como á la presencia de algunas líneas dispuestas en semicírculo radiado, si se coloca en una cajita con una abertura central que existe en el ocular, una placa con una hendidura movible en todas direcciones, se puede apreciar el meridiano astigmático, que se mide luego con el optómetro. Además, como prueba, si se sustituye la placa hendida, con un cristal cilíndrico con el eje y las dioptrías correctoras del astigmatismo, que se ven ya marcadas en el graduador y se coloca éste á 0, se obtiene un resultado análogo al examen anterior, y queda fijada la direccion del meridiano y el número de dioptrías de la lente correctora.

Escalas visuales del Dr. Carreras Aragó.—Están adoptadas al sistema métrico decimal, y además entre las letras y tipos que sirven para las generales, hay otras formadas por líneas de $\frac{1}{3}$ del grosor comun, en forma de radios de 0°, 45°, 90° y 135°, marcando los cuatro meridianos principales del ojo, á beneficio de cuya disposicion, desde el primer momento, en ciertos casos, se pueden descubrir algunos astigmatismos, que luego se determinan con precision con los radios ordinarios. Si bien la disposicion de las escalas es para practicar los exámenes á cinco metros de distancia, hay algunas líneas destinadas á la

vision á 4, 3, 2 y un metros, con lo cual se facilita las mediciones en salas de dimension más pequeña.

Llámase *terreno de acomodacion*, el espacio comprendido entre el *punctum proximum* y el *punctum remotum*.

Desígnase con el nombre de *poder acomodador* la amplitud de acomodacion que poseen los ojos de un individuo dado. La acomodacion, segun Donders, puede ser representada por cierto número de *dioptrías*; lo que equivale á decir, que podemos representar el poder acomodador de un ojo, por un valor dióptico equivalente á una lente positiva, de un número determinado de dioptrías.

Límites de la acomodacion. — Miopía. Presbicia. Astigmatismo.

§ 13.

Acabamos de indicar que el ojo se acomoda á las distancias, de manera que las imágenes se dibujan siempre en la retina, y que esta acomodacion tiene límites que no es posible traspasar, los cuales por otra parte varían mucho en los diferentes individuos segun sea el tamaño de los objetos y la intensidad de la luz. Los cuerpos luminosos situados en el espacio los percibimos á distancias casi infinitas; cuando leemos ó escribimos, suponiendo la vista natural, distinguimos las letras con claridad y sin esfuerzo á unos treinta centímetros, y aunque podemos distinguir las si las aproximamos ó alejamos, las imágenes se van presentando cada vez más confusas, hasta que llega un momento en que es imposible la lectura. Por regla general la acomodacion no es ya posible á una distancia menor de diez á doce centímetros.

Miopía. — Hay sujetos en quienes, en el estado normal, el poder convergente de los medios transparentes del ojo es tan grande, que el foco se forma delante de la retina, aun á las distancias ordinarias, y como en este

caso las imágenes aparecen confusas, procuran relajar el tensor de la coroides para que disminuya la convexidad del cristalino ; pero como la facultad de acomodacion tiene sus límites, cuando ésta no es ya suficiente, se ven precisados á mirar los objetos *de cerca*, á fin de que el foco *se aleje* y no se forme delante de la retina, sino en la superficie de esta membrana, circunstancia indispensable para ver con claridad. Los sujetos en quienes se presenta este fenómeno se llaman *miopes*, y cuando leen, en vez de distinguir las letras sin esfuerzo á treinta centímetros, necesitan aproximarlas más ó menos, segun sea el grado de *miopía*, si bien hay casos en que sólo pueden leer á un centímetro de distancia.

Hipermetropia. — Hay otros casos en que el poder convergente de los medios transparentes del ojo es tan pequeño, que el foco se forma detras de la retina á las distancias ordinarias, y aunque se procure contraer el tensor de la coroides para aumentar la convexidad del cristalino, como la facultad de acomodacion tiene sus límites, es preciso mirar los objetos *de lejos*, á fin de que el foco *se acerque* y coincida con la superficie de la retina para que las imágenes se perciban con claridad. A los sujetos en quienes se presenta este fenómeno se les llama *hipermétropes*, y la *hipermetropia* es á veces tan considerable, que para distinguir las letras de un libro es indispensable colocarlo á setenta ú ochenta centímetros de distancia.

La hipermetropia que no depende de la falta del poder convergente de los medios transparentes del ojo, sino de la disminucion que experimenta, con el progreso de la edad, la facultad de acomodacion para los objetos cercanos, se llama *presbicia*. La presbicia y la hipermetropia producen los mismos efectos, aunque sostenidos por causas diferentes.

Puede apreciarse el grado de hipermetropia por la fuerza del cristal que se coloca delante del ojo del pa-

ciente, para que los rayos sensiblemente paralelos vayan á formar su foco en la retina.

En cuanto á la presbicia, conócese fácilmente, por que no se pueden distinguir los caracteres con toda precision á la pequeña distancia de 12 pulgadas.

Como la miopía depende de la excesiva convexidad de los medios transparentes del ojo, y principalmente del cristalino, puede neutralizarse su influencia usando anteojos cóncavos; y estando la presbicia sostenida por una causa contraria, pueden corregirse sus efectos con el uso de anteojos convexos.

Para apreciar con la exactitud posible el grado de miopía ó de presbicia, y de consiguiente, el de convergencia ó de divergencia que, segun las circunstancias, deben tener los anteojos, conviene emplear el *optómetro*. Independientemente de los aparatos indicados más arriba, podemos hacer uso para las necesidades de la práctica de un *optómetro* sumamente sencillo y que, sin dificultad ninguna, podemos improvisar. Consiste este aparato en un diafragma de cartulina con dos pequeñas aberturas en una misma línea horizontal, y cuya distancia entre sí es menor que el diámetro de la pupila. A traves de estas aberturas se mira un objeto, que suele ser una línea vertical, negra, trazada en un plano blanco, dispuesto de manera que pueda aproximarse ó alejarse, moviéndole sobre una regla graduada. Cuando la línea negra está colocada á la distancia de la vista natural, es decir, en el límite de la vision distinta, se ve sencilla, porque los conos luminosos que penetran en el ojo por los pequeños orificios del diafragma forman el foco en la superficie de la retina; pero cuando se acerca ó se separa, esto es, cuando no está en el límite de la vision distinta, los indicados conos forman el foco delante ó detras de la retina, y como esta membrana recibe en este caso dos círculos de difusion, se producen dos imágenes confusas, y de consiguiente la línea

negra se ve doble. Ahora, como por medio de la regla graduada se mide la distancia á que cada uno necesita colocar el objeto para verlo sencillo, esta distancia, mayor ó menor segun los casos, indica los grados de miopía ó de presbicia.

Toda vez que con el optómetro puede medirse con rigurosa exactitud el límite de la vision distinta, no sólo sirve para apreciar los diferentes grados de miopía y de presbicia, y para elegir con acierto las lentes ó los anteojos que convienen á fin de corregir sus efectos, sino para distinguir si estas alteraciones son verdaderas ó simuladas, razon por la cual M. Ruete ha propuesto el empleo de este aparato en los reconocimientos que se verifican para el reemplazo del ejército.

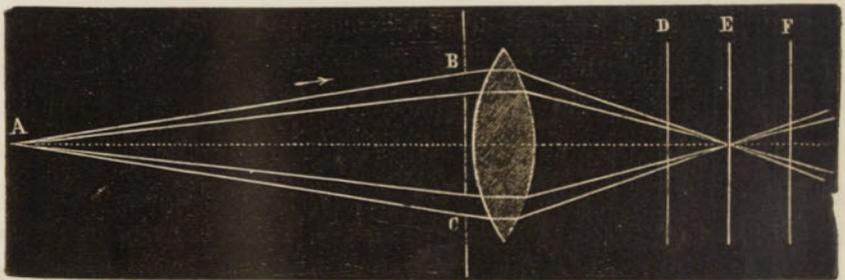


Fig. 22. — A, punto del objeto de donde parte la luz — BC, pequeños conos luminosos que penetran en el ojo por los orificios del diafragma. — E, retina en cuya superficie se forma el foco cuando el objeto está en el límite de la vision distinta. — D, retina en la que se proyectan dos círculos de difusion cuando el objeto está más cerca y el foco se forma detras de ella. — F, retina en la que tambien se proyectan dos círculos de difusion cuando el foco se forma delante por estar lejos el objeto.

M. Donders cree que la diferencia de longitud del eje ocular es la que produce la miopía ó la presbicia, siendo más largo en los miopes, y más corto en los présbitas que en los que tienen la vista natural. Por su parte, M. Müller sospecha que la causa principal consiste en la imposibilidad de acomodarse el ojo á las diferentes distancias, por impotencia en los medios regulares de adaptacion. Estas opiniones quedan refutadas con sólo tener presentes los resultados que se obtienen con el uso de anteojos á

propósito, es decir, corriendo artificialmente el exceso ó la falta de refrangibilidad de los medios transparentes del ojo, en cuyo caso, los miopes, lo mismo que los présbitas, no sólo ven con claridad á la distancia ordinaria, sino á otras diferentes, lo que prueba que la acomodacion se verifica con regularidad.

Por lo demas, si necesitáramos una nueva prueba de que las irregularidades de la vista que estamos examinando dependen del exceso ó de la falta de refringencia de los medios transparentes, la tendríamos en que un mismo ojo puede ser á la vez emétrope, es decir, de vista natural, y miope ó présbita, si los diferentes meridianos en que podemos suponerlo dividido tienen distintos grados de refrangibilidad. Este trastorno singular, conocido con el nombre de *astigmatismo*, merece fijar un momento la atencion.

Astigmatismo. — Suponiendo dividido el ojo por dos meridianos perpendiculares entre sí, cabe en lo posible que las partes transparentes comprendidas en el meridiano vertical tengan mayor grado de refraccion que las situadas en el meridiano horizontal; y como en este caso los rayos luminosos que pasen por el meridiano vertical serán refractados con mayor intensidad que los otros, podrán formar foco delante de la retina, y de consiguiente, el ojo podrá ser miope en esta parte, siendo présbita ó siendo emétrope en todas las demas.

El descubrimiento de esta afeccion se debe en parte á Young, quien en 1801 notó en sí mismo, mirando con el optómetro, que el punto de su vision distinta no era el mismo cuando los pequeños orificios del diafragma estaban dispuestos en sentido horizontal que cuando lo estaban en sentido vertical. Helmholtz, Knapp y Donders han completado despues con observaciones prácticas numerosas la explicacion de un fenómeno que Young atribuyó á una posicion oblicua del cristalino, dependiente de una anomalía en su aparato ocular.

El astigmatismo se observa en un considerable número de individuos ; pero tiene de ordinario tan poca importancia , que pasa desapercibido. Cuando adquiere mayores proporciones , perturba considerablemente la vision , aunque en la generalidad de los casos puede corregirse fácilmente.

El astigmatismo se divide en regular é irregular. Llámase regular al que acabamos de describir , es decir , al que depende de la diferente corvadura ó de la diferente refrangibilidad de los meridianos del ojo , entre los que , los principales son el vertical y el horizontal. Para corregirlo , se emplean anteojos con cristales más fuertes en una de estas direcciones que en la otra , ó que tengan la corvadura sólo en un sentido , esto es , se usan cristales de superficie cilíndrica. Se llama irregular al que depende de la diferente corvadura ó fuerza refringente de las partes del ojo comprendidas en el mismo meridiano , y en este caso , la correccion por medio de anteojos es imposible.

Reconócese el astigmatismo por medio de un disco opaco provisto de una hendidura longitudinal : este disco se coloca delante del ojo del paciente , y se le da vueltas en diferentes sentidos , observándose que la vision es más distinta en un sentido que en todos los demas. Depende este resultado de que la vision se verifica en la direccion de un solo meridiano , por cuyo motivo los círculos de difusion verificados en los demas meridianos se anulan por completo.

Como el astigmatismo puede presentarse lo mismo en un miope que en un présbita , y como , segun hemos dicho , hay casos en que el ojo es natural en todos los meridianos , excepto en el astigmático , se presentan numerosas variedades de astigmatismo que el médico práctico necesita conocer , para lo que recomendamos los interesantes artículos que acerca de este particular ha publicado nuestro amigo el Dr. Carreras en el *Compilador Médico*.

Aberracion de esfericidad.

§ 14.

Puesto que, segun hemos indicado anteriormente, existe una relacion constante entre el seno del ángulo de incidencia y el del ángulo de refraccion, los rayos luminosos que, partiendo de un mismo punto, caen sobre las partes marginales de una lente biconvexa, experimentan una refraccion mayor que los que se hallan en la proximidad del eje, toda vez que aquellos son más oblicuos que estos últimos, y de consiguiente, los unos forman el foco en un punto diferente de los otros. Este fenómeno, conocido con el nombre de *aberracion de esfericidad*, da lugar á que las imágenes aparezcan algo confusas, y en los instrumentos de fisica se corrige este defecto por medio de diafragmas que impiden el acceso de los rayos marginales, permitiendo pasar únicamente los que van á caer en la proximidad del eje donde la aberracion de esfericidad es casi nula.

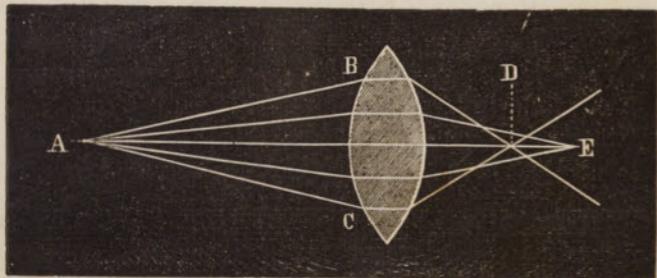


FIG. 23. — A, punto de partida de los rayos luminosos. — AB y AC, rayos marginales que son refractados con más intensidad y forman el foco en D. — E, punto donde forman el foco los demas rayos.

Si en el aparato ocular existiera la aberracion de esfericidad como en las demas lentes, la vision sería confusa, puesto que en uno de los focos, el de los rayos marginales ó el de los rayos centrales, sólo coincidiría con la retina por círculos de difusion; pero el ojo es una lente aplanética, es decir, de constitucion tan perfecta, que

todos los rayos que la atraviesan convergen en un mismo foco. Para que esto se consiga con mayor seguridad, la naturaleza emplea tres medios diferentes : en primer lugar, el iris sirve de diafragma y cubre parte de la circunferencia del cristalino, aun en los casos en que la pupila está muy dilatada, oponiéndose á la entrada de los rayos marginales más excéntricos ; en segundo lugar, como las superficies del cristalino son elipsoides, su convexidad disminuye hácia los bordes, y su menor convergencia en este punto compensa en parte el exceso de refraccion á que por su oblicuidad están sujetos los rayos marginales, y en tercer lugar, esta compensacion se completa, porque el cristalino está compuesto de capas concéntricas, cuyo número es menor en los bordes que en el centro, y de consiguiente, su fuerza refringente disminuye desde el núcleo central á la circunferencia. No debe causarnos sorpresa, por lo mismo, que todos los rayos que atraviesan el cristalino converjan en el mismo foco, ni que las imágenes se dibujen con perfeccion sobre la retina, porque así es preciso que suceda con arreglo á las leyes de la refraccion, á pesar de la diferente oblicuidad con que penetran en el ojo.

§ 15.

Aberracion de refrangibilidad ó cromatismo. — La luz blanca se descompone en siete colores primitivos al atravesar cuerpos transparentes cuyas superficies opuestas no sean paralelas, porque cada uno de los elementos luminosos de que consta, posee una refrangibilidad diferente. Este fenómeno se llama cromatismo, y como en las lentes ordinarias bi-convexas, aunque sus caras son casi paralelas en las inmediaciones del eje, se van separando del paralelismo á medida que se aproximan á los bordes, descomponen la luz que por ellos pasa, dando lugar á la apa-

ricion de los colores del espectro solar en los contornos de las imágenes que forman. Por eso, al mirar un objeto con anteojos de teatro, ó de larga vista, cuyas lentes no sean acromáticas, los vemos como irisados de colores diferentes en su circunferencia. Este defecto se corrige en los instrumentos de óptica, asociando las lentes de flint-glass, en cuya composicion entra el plomo, con las de crown-glass, que no lo contienen, y se llaman en este caso acromáticas porque destruyen el cromatismo ó la coloracion irisada que se produce sin esta modificacion.

En el ojo, á pesar de representar una lente bi-convexa, se forman las imágenes sin dispersion de colores en sus contornos, lo que indica que el aparato ocular es perfectamente acromático. Este resultado se debe á la influencia de las mismas causas que impiden la aberracion de esfericidad de que antes hemos hablado. En primer lugar, el iris se opone á que los rayos se dirijan á las márgenes del cristalino, y como los que penetran por la inmediacion de su eje encuentran superficies casi paralelas, no experimentan la dispersion de sus elementos luminosos ; y en segundo lugar, las diferencias de corvadura y de densidad de los medios transparentes del ojo contribuyen al mismo resultado.

Ademas, aun en el caso de que no existiera ninguna de estas circunstancias, el ojo sería acromático, porque con los medios de acomodacion de que dispone, evitaría los efectos de la dispersion de la luz. Supongamos que ésta se descompone en sus siete colores primitivos que, por su orden de refrangibilidad, de menor á mayor, son : el rojo anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado, y de consiguiente, que del punto del objeto de que procede la luz blanca, se forman en el ojo una serie de imágenes sucesivas en vez de una sola : la primera, por los rayos violáceos, que son los más refrangibles ; la segunda, por los de color de añil, que siguen en orden de refrangibilidad, y

la última, por los rayos rojos, que son los que menos se refractan. Estando el objeto en el límite de la vision distinta, y por lo tanto acomodado el ojo á la distancia natural, la única de estas imágenes que caerá sobre la retina será la que se halle en medio de las otras, es decir, la de color verde, y las demas, que por exceso ó por falta de refraccion se dibujan antes ó despues de la retina, formarán círculos de difusion con sus colores respectivos ; pero como estos círculos se cubrirán en parte por sus bordes, los colores complementarios caerán los unos sobre los otros, y combinándose, resultará la luz blanca, y se obtendrá en definitiva una imágen nítida sin irisacion en su contorno.

Algunos fisiólogos aseguran que el ojo no es acromático, porque un círculo de papel blanco sobre fondo negro aparece confuso y con sus bordes coloreados, con tal que no fijemos la vista en el papel sino en un punto cualquiera del espacio que en línea recta le separa del observador. Este experimento trivial, que cualquiera puede repetir, probará, á lo más, que cuando los ojos no se hallan en sus condiciones regulares, cuando dislocamos, por decirlo así, la posicion respectiva de sus partes componentes, esforzándonos *en ver un objeto sin mirarle*, como dice Beclard, aparecen las zonas coloreadas ; pero por lo mismo, este hecho probará tambien, si esto necesitara demostrarse, que en circunstancias regulares los ojos son perfectamente acromáticos.

§ 16.

Usos del iris y de la pupila. — El iris es un diafragma muscular : como los diafragmas de los instrumentos de óptica, no tiene otro objeto que el de regularizar la cantidad de rayos luminosos que deben atravesar el cuerpo de una lente. Lleva gran ventaja á los diafragmas físicos, porque

siendo variable el diámetro de su abertura, hace las veces él solo de un gran número de estos discos, dotados de pupilas de diferentes tamaños.

De esto se sigue, que los movimientos del iris están exclusivamente destinados á la modificacion del diámetro pupilar. Para realizar este objeto, está provisto el iris de dos series de fibras musculares : unas *radiadas*, constituyendo el *músculo dilatador*, las cuales desde el borde ciliar del iris van al borde del esfínter ; otras *circulares* formando este *esfínter*, el cual rodea al contorno pupilar. Cuando se contraen las primeras, la pupila se *ensancha*; cuando se contraen las segundas, la pupila se *estrecha*. Ambas pertenecen á la categoría de las fibras *lisas*, por cuyo motivo sus movimientos son *involuntarios*. Estos movimientos son además *simultáneos* en las dos pupilas, si bien, por regla general, la pupila excitada se contrae un poco más que la opuesta.

La contraccion de la pupila puede ser tal, que esta abertura quede reducida á un milímetro de diámetro ; cuando está contraída se llama *miosis*, de $\mu\acute{o}\sigma\iota\nu$ guiñar el ojo ; puede al contrario, alcanzar un diámetro de once milímetros, recibiendo cuando está dilatada el nombre *midriasis*, de $\mu\omicron\delta\rho\iota\alpha\sigma\iota\varsigma$ dilatacion pupilar. Estas denominaciones, sin embargo, se reservan generalmente para los casos patológicos. La dilatacion media de la abertura pupilar, es de unos seis milímetros.

El iris, como diafragma que es, sirve especialmente para apartar de la periferia del cristalino los rayos luminosos que penetran por la córnea.

Hay quien sospecha que el iris contribuye tambien á la acomodacion ; primero, porque la pupila se contrae cuando fijamos la vista en objetos muy próximos, y segundo, porque el haba de Calabar, que produce una acomodacion tetánica para las distancias cortas, disminuye igualmente el diámetro del orificio pupilar. Sin embargo, basta con-

siderar que la acomodacion persiste en toda su integridad cuando falta el iris, para comprender que los movimientos de este diafragma en nada influye para que aquella se verifique. Citaremos un hecho bien patente en comprobacion de lo que acabamos de decir. Agujereando una carta de manera que el orificio constituya una especie de pupila artificial de diámetro invariable, y mirando á traves de la misma, vemos claramente los objetos aunque se encuentren á distancias distintas, lo que no podría suceder si el iris interviniera directamente en el fenómeno que examinamos. Lo que sí sucede es, que entre las contracciones del iris y las del músculo ciliar existe una manifiesta connexion. Cuando miramos un objeto lejano, la pupila se ensancha; cuando un objeto próximo, la pupila se estrecha.

Influencia del sistema nervioso en los cambios de diámetro de la pupila.

§ 17.

El sistema nervioso ejerce una influencia marcadísima en los cambios de diámetro de la pupila. Como síntesis de los detenidos estudios que se han hecho acerca de este punto, puede establecerse en principio que la pupila se *contraerá*: 1.º por la accion de las vibraciones luminosas, ya en el mismo iris, ya sobre la retina; 2.º por la irritacion mecánica, química, eléctrica, del nervio óptico; 3.º por la irritacion del nervio motor ocular comun; 4.º por la accion inicial de los agentes anestésicos; 5.º por la seccion del trigémino; 6.º por la parálisis de los filetes vaso-motores iridianos; 7.º por la parálisis del simpático; 8.º por la congestion de los vasos del iris; 9.º por el sueño; 10.º por la expiracion; 11.º por la acomodacion para los objetos próximos, etc.

En cambio, la pupila se *dilatará*: 1.º por la ausencia de luz; 2.º por la seccion del nervio óptico; 3.º por la exci-

tacion del trigémino ; 4.º por la de los filetes vaso-motores iridianos ; 5.º por la de los nervios sensitivos ; 6.º por la del simpático ; 7.º por la parálisis del motor ocular comun ; 8.º por la disminucion del calibre de los vasos iridianos ; 9.º por la inspiracion ; 10º por la asfixia ; 11º por la difnea ; 12º por el síncope ; 13º por la agonía ; 14º por el último período de la accion de los agentes anestésicos ; 15º por la acomodacion para los objetos lejanos, etc.

Ademas de estas influencias y de algunas otras que pudiéramos citar, existen ciertos agentes especiales, susceptibles de modificar en gran manera el diámetro normal de la pupila. Los que dilatan esta abertura se llaman *midriáticos*, los que la estrechan *mióticos*. Entre los primeros tenemos la *atropina*, la *daturina*, la *hiosciamina*, la *duboisina*, la *cocaína* ; entre los segundos, la *eserina*, la *morfina*, etc.

§ 18.

Usos de la coroides. — Desempeña esta membrana un papel muy importante en los complicados fenómenos de la funcion visual.

Por medio de su pigmento, el ojo se convierte en una *cámara oscura* ; cámara completada por la membrana úvea que tapiza el iris por su cara posterior. Sea cual fuere la teoría que adoptemos para explicarnos la vision, es indudable que la capa negra representada por las células pigmentarias, debe absorber *una parte* por lo menos de los rayos luminosos que penetran en el ojo.

La coroides posee diferentes hacecillos musculares lisos, que en el fenómeno de la acomodacion, tienden esta membrana hácia delante, aplicándola más íntimamente sobre la retina y completan de esta manera la *accion acomodatriz* del músculo de Brücke.

Finalmente, por los numerosos vasos que posee, viene á ser una verdadera *estufa* de la retina, proporcionando á esta membrana el calor que necesita para el desempeño de su importantísima funcion.

§ 19.

Partes del ojo encargadas de recibir la impresion de la luz. — De los datos expuestos anteriormente, se deduce que para ver los objetos con claridad es preciso que su imagen se forme en la retina. Esta circunstancia, la estructura esencialmente nerviosa de la indicada membrana y su comunicacion directa con el cerebro por medio del nervio óptico, indican bien que está destinada á recibir las impresiones luminosas. Pero, ¿es la retina igualmente sensible en todos los puntos de su superficie? ¿Hay alguno de sus elementos anatómicos con influencia más directa que los otros en los fenómenos de la vision? Al parecer, y segun indican los hechos que vamos á exponer, las únicas terminaciones nerviosas directamente excitables por las vibraciones del eter, son los conos y los bastoncillos, sin que las demas porciones de la retina, constituidas por la expansion del nervio óptico, sean capaces de recibir las impresiones luminosas.

Admítese en Fisiología que la mancha amarilla es la region más sensible de la membrana que nos ocupa; que desde esta mancha hasta la parte anterior del ecuador del ojo, la sensibilidad va disminuyendo de una manera muy marcada, hasta el punto de que en esta última region es 150 veces menor que en la referida mancha; que en las zonas anteriores de la retina es obtusa por completo; y finalmente, que la papila del nervio óptico es enteramente *ciega*.

La demostracion de la ceguera papilar es, como veremos más abajo, uno de los problemas más triviales que el

fisiólogo se puede proponer. Pero no diremos otro tanto respecto á la sensibilidad de las partes periféricas, despues de los trabajos de Exner, Aubert, Dobrowsky, Charpentier, Laudolt é Ilo, etc., y muy especialmente en vista de los experimentos practicados por Schadow (*Archi. für die gesammte Physiologie*). En efecto; este fisiólogo, dirigiendo la luz únicamente á la periferia retiniana, ha observado que la intensidad lumínica indispensable para excitar la *fovea centralis*, es realmente menor que la que se necesita para excitar las partes situadas á 60° hácia dentro de dicha *fovea*; pero ha observado tambien que la retina es excitada por una intensidad de luz mucho menor en las regiones comprendidas á 30° dentro de la *fovea*, que en el centro mismo de esta depresion central. Si en lugar de dirigir la luz únicamente á la periferia, lo verificaba tambien al centro de la retina, observaba entonces que la sensibilidad periférica se hacía más pequeña.

Relativamente á las regiones periféricas, se sostiene por algunos de los autores mencionados más arriba, que la sensibilidad retiniana disminuye rápidamente desde la *fovea centralis* hácia la periferia, en lo que se refiere al *sentido del espacio*; que la excitabilidad para el color *violado*, es mayor á 30° hácia dentro de la *fovea* que en el mismo centro de esta depresion; que para el *verde* y el *azul*, dicha impresionabilidad es mucho menor en la region mencionada, y que tambien es más pequeña para el *rojo* y el *amarillo*.

Para conocer la importancia de estas diferentes regiones, es indispensable que conozcamos la *extension precisa* de cada una de ellas. Sobre esto diremos que la mancha amarilla tiene un diámetro vertical de 8 décimas de milímetro y un diámetro horizontal de 2 milímetros; la *fovea centralis* situada en el centro de la *macula lutea*, tiene un diámetro de 2 décimas de milímetro, conteniendo esta fosa unos 2.000 conos. La *papila* tiene un diámetro de 1 mili-

metro y 8 décimas. Y la superficie total de la retina es de 15 centímetros cuadrados.

Segun antes dijimos, la parte de la retina que corresponde al punto de union con el nervio óptico, compuesta sólo de fibras nerviosas, sin conos ni bastoncillos, es insensible á la luz, y se la designa por esta razon con el nombre de *punctum cæcum* ó *mancha oscura de Mariotte*. Se demuestra la insensibilidad de la retina en este sitio, colocándose el observador frente á un cuadro negro, en el que haya, á la misma altura y á 15 centímetros de distancia, dos círculos blancos de 3 centímetros de radio. Mirando el círculo de la derecha con el ojo izquierdo, teniendo cerrado el derecho, se distinguen los dos círculos con claridad; pero á cierta distancia, cuando la proyeccion de los rayos del círculo de la izquierda corresponde al *punctum cæcum*, este círculo deja de ser visible y sólo se percibe el de la derecha. Podría quizá sospecharse que la insensibilidad de la retina en el *punctum cæcum*, depende de la falta de la coroides perforada en este sitio para dar paso al nervio óptico, y de que la luz es, de consiguiente, reflejada, perjudicando la formacion de las imágenes y la claridad de la vision; pero esto supondría que en todos los demas puntos donde no falta la coroides y donde la luz puede ser absorbida por su pigmento, conserva la retina igual sensibilidad, y no obstante sucede lo contrario.

CAPÍTULO V.

Estudio de las funciones retinianas.

§ 20.

Intensidad del foco luminoso: sus límites indispensables para determinar la sensacion visual. — Si la intensidad de este foco es deficiente, la retina no será modificada; si es

exagerada en demasía, desaparecerá la sensacion de luz, para convertirse en sensacion positiva de *dolor*. La falta de sensacion no siempre corresponde á la falta de excitante, sino más bien á lo débil de la excitacion. Y esto, no sólo es cierto en lo que se refiere al sentido de la vista, sino á todos los demas ; así, en cuanto á las sensaciones auditivas, es indudable que si no *oímos* el ruido de los pasos de una mosca que camina por el cristal de la ventana, no se debe á que tal ruido deje de existir, sino á que nuestro órgano auditivo no es bastante sensible para oirlo : escuchemos, ayudados de un micrófono, y aquel ruido se distinguirá perfectamente.

Ademas, la intensidad necesaria para producir una sensacion luminosa cambiará con el grado de excitabilidad de la retina, pudiendo decir, por regla general, que cuando esta membrana descansa, se hace más excitable, y que la excitabilidad se embota por la accion lumínica, considerable y persistente. Así, al despertarnos en medio de la noche, vemos por las rendijas de los balcones una claridad que pasaría desapercibida por completo, si desde un punto vivamente iluminado, pasásemos á nuestro oscuro aposento.

Otro punto importantísimo relativo á la intensidad, consiste en una aparente anomalía entre esta intensidad y la excitacion. Contra lo que podríamos figurarnos, la intensidad de la sensacion no va creciendo directamente con la intensidad de la excitacion. Segun la ley de Weber, la intensidad de una sensacion determinada, es inversamente proporcional á la de la excitacion que la produce, demostrándose perfectamente, que para que la sensacion aumente en progresion aritmética, es necesario que la excitacion que debe producirla crezca en progresion geométrica. Debe tenerse en cuenta, ademas, que la cantidad que se añade ha de ser el *minimum* del crecimiento perceptible.

De ahí se sigue una diferencia grande entre las excitaciones débiles y las excitaciones fuertes : una diferencia

muy pequeña entre la intensidad de las primeras, será perfectamente apreciable; al paso que para poder ser distinguidas las segundas, la diferencia entre las excitaciones debe ser ya grande. Para que la diferencia sea perceptible, la luz blanca de intensidad mediana debe aumentar de $\frac{1}{150}^{\circ}$. Esto nos explica un sinnúmero de fenómenos que á primera vista pueden parecer paradójales: si en una noche de luna colocamos un cuerpo opaco frente á un papel blanco, obtendremos una sombra claramente perceptible; pero, si acercamos una lámpara al papel, la sombra, aun cuando existe en realidad, desaparece completamente á nuestra vista. A su vez, la sombra proyectada por la luz de la lámpara, desaparecerá ostensiblemente ante la luz del sol. La desaparicion de la citada sombra se debe á que su iluminacion no es ya inferior á la del fondo, en la proporcion antedicha de $\frac{1}{150}^{\circ}$.

§ 21.

Apreciacion de la intensidad de las sensaciones luminosas.
— Para medir la intensidad de las sensaciones luminosas, nos valemos de la *fotometría*. Entre los fotómetros más usados tenemos el de Rumford, compuesto de una pantalla blanca con un vástago vertical enfrente de ella; colócanse dos luces delante de este vástago, cada una de las cuales proyectará una sombra en la pantalla. Estas sombras se hacen completamente iguales, separando ó aproximando las luces respectivas. Demuéstrase por este procedimiento, que la intensidad de la luz es proporcional al cuadrado de la distancia que la separa de la pantalla.

El fotómetro de Bunsen está basado en la traslucidez que adquiere el papel manchado por la estearina.

Por medio de los fotómetros podemos conocer, segun Frechuer, que la vista es susceptible de apreciar la inten-

sidad de una luz dada, con una aproximacion equivalente á una centésima del valor de dicha luz.

Todavía es preferible al uso de los fotómetros el empleo de los *discos rotadores*. Para ello se echa mano de un disco rotador, en el que se dibuja previamente una recta interrumpida, desde el centro á la circunferencia, teniendo cuidado de que cada seccion de dicha recta ofrezca un igual grosor. Se hace girar el disco y se observa que los segmentos negros vienen á formar franjas grises, cuyos contornos deben distinguirse del fondo del disco, que es blanco. Comparando la intensidad del blanco del disco, con la intensidad del gris en los diferentes segmentos de la línea, y teniendo en cuenta el grosor de esta última, así como la distancia de cada segmento, al centro del disco rotador, se pueden apreciar diferencias de intensidad de $\frac{1}{150}^{\circ}$.

§ 22.

Tiempo que debe durar la excitacion para dar origen á la sensacion de luz. — Para que la retina se impresione, y para que esta impresion se transmita á su respectivo centro, es preciso una determinada duracion en la específica excitacion de esta membrana. En la economía no hay actos *instantáneos*, pues todos los fenómenos requieren cierto tiempo, y no hay funcion ninguna, incluso las visuales, que formen excepcion á esta regla general. Este período de tiempo, no sólo existe siempre, sino que en la mayoría de casos es apreciable y susceptible de exacta medicion.

Ademas, la percepcion no sigue inmediatamente á la excitacion; es tambien indispensable cierto intervalo de tiempo entre el *contacto* de la luz con la retina, y la *sensacion* producida en el sensorio. Si analizamos los fenómenos que entre estos dos puntos extremos se suceden, tendremos dividido el procedimiento fisiológico que á primera

vista podría parecer indivisible. Cuando las vibraciones luminosas atraviesan los medios oculares refringentes, llegan á la capa más interna de la retina, recorren todo el espesor de esta membrana, alcanzan su capa externa, se reflejan al nivel del pigmento coróideo y el movimiento físico, se convierte en corriente fisiológica ; esta corriente recorre todo el trayecto del nervio óptico, llega á los centros cerebrales, y éstos, para ser modificados, requieren asimismo un intervalo brevísimo de tiempo. Viceversa cuando el foco luminoso se ha extinguido, tampoco lo dejamos de ver en un instante, porque las vibraciones de los centros cerebrales duran todavía un corto intervalo ; las del nervio óptico tampoco se apagan en seguida, y las de las diferentes capas retinianas no se extinguen de repente. El conocimiento de estos hechos nos ha de servir de mucho para la comprensión de ciertos fenómenos especiales.

§ 23.

Medición del tiempo que dura la impresion luminosa. — Diferentes procedimientos se han ideado para medir la duración de la impresion luminosa ; entre ellos, uno de los que más ventajas ofrece es el usado por Recordt, consistente en un foco luminoso, delante del cual hay un péndulo que posee una lámina provista de una abertura cuadrangular en su parte media ; abertura que puede hacerse mayor ó menor, mediante dos pequeñas láminas movibles, que vienen á limitarla : delante de este péndulo, se coloca una pantalla provista de una hendidura, por la cual se mira la luz. Cuando el péndulo oscila, compréndese que la excitacion luminosa durará únicamente el tiempo en que se correspondan la hendidura de dicho péndulo y la hendidura de la pantalla.