

no puede percibir una luz de cualquier intensidad en presencia de otra luz 64 veces más fuerte. Esto explica por qué las estrellas son invisibles de día, por qué desde una habitación muy iluminada no vemos de noche por las ven-

tanadas nada de lo que pasa fuera, y por qué, cuando el Sol brilla en todo su esplendor, no vemos desde la calle lo que hay en una habitación.

El experimento de Bouguer no estaba com-

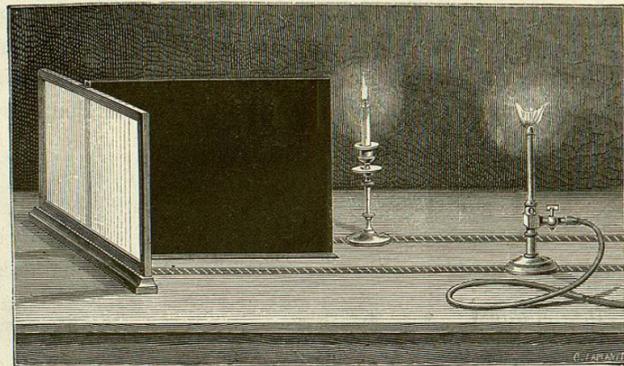


Fig. 177. — Fotómetro de Bouguer

pleto. En efecto, si la cantidad de luz igual á un  $64^\circ$  la llega á ser imperceptible en el caso de inmovilidad, no sucede lo propio cuando una de las luces se mueve con relacion á la otra. Fácil es cerciorarse de ello valiéndose de una

prueba familiar parecida á la que Arago cuenta en estos términos: «Me paseaba al medio día, dice, andando de norte á sur por la azotea meridional del observatorio, y por lo tanto toda la parte del embaldosado situado al sur de mi

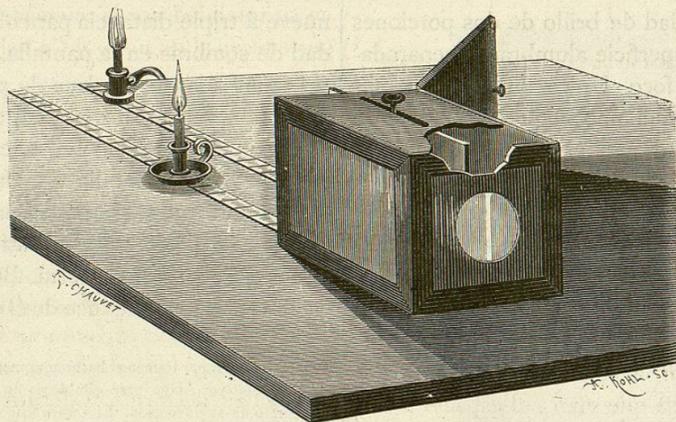


Fig. 178. — Fotómetro de Leon Foucault

cuerpo estaba alumbrado de lleno por la luz directa del Sol; pero las vidrieras de las ventanas de los establecimientos situados á mi espalda reflejaban los rayos del astro; habia pues una imagen secundaria, una especie de sol artificial puesto al norte, cuyos rayos, viniendo á mi encuentro, debian formar una sombra dirigida de norte á mediodía. Naturalmente, esta sombra era muy débil, puesto que la iluminaba la luz directa del Sol, y por consiguiente sólo se la

podía advertir comparando dicha luz directa con la situada al lado, compuesta de esta misma luz directa y de los rayos, bastante débiles, reflejados por las vidrieras. Pues bien, si yo permanecía inmóvil, no se veía ningun indicio de sombra; si hacia un ademan con los brazos ó un movimiento brusco con el cuerpo produciendo un desvío perceptible de la sombra, al punto se notaba la imagen de los brazos ó del cuerpo.»

Con los anteojos de gran amplificación se ve cómo se desvian rápidamente las estrellas en virtud del movimiento diurno, observacion que puede hacerse tanto de día como de noche, procediendo principalmente esta visibilidad en pleno día de que subsiste la intensidad del punto luminoso, sea cualquiera la amplificación, al paso que el campo del antejo en que dicho punto se proyecta, se oscurece á causa de esta misma amplificación. Arago creia que la movilidad de la estrella en el campo visual debia contribuir á esta visibilidad, pero Bessel no admitia semejante influencia.

Bouguer y Wollaston han tratado cada uno de por sí de comparar la luz del Sol con la de la Luna llena, tomando por término de comparación la luz de una bujía, y ambos han dedu-

cido que la luz del Sol equivale á las luces reunidas de unas 5,600 velas situadas á 30 centímetros de distancia. La de la Luna es, segun Wollaston, igual á la 144.<sup>a</sup> parte de la de una vela colocada á 3<sup>m</sup>,65, de lo cual ha deducido, en virtud de un cálculo fácil, que la luz del Sol viene á ser igual á 800,000 veces la de la Luna llena, cifra que sólo llega á 300,000 en concepto de Bouguer. Arago añade refiriéndose á la cantidad deducida por Wollaston y que difiere tanto de la del físico francés: «No puedo decir en qué consiste la enormidad de este número comparado con el de Bouguer, porque el método empleado era exacto y la observacion de incontestable habilidad.» ¿Qué deberemos deducir de esto sino que hay que estudiar de nuevo el problema?

## CAPITULO XVII

### EL OJO Y LA VISION

#### I

##### DESCRIPCION DEL ÓRGANO DE LA VISTA EN EL HOMBRE

Todos los numerosos y variados fenómenos que acabamos de describir se refieren á la propagacion de la luz en diferentes medios y á las modificaciones que sufre, ya por lo que á su intensidad se refiere ó ya por lo que respecta al color, cuando se cambian las condiciones del curso seguido por los rayos luminosos. Hasta aquí apenas hemos tenido en cuenta el modo cómo afectan á nuestros órganos todos estos fenómenos, ni la marcha que la luz sigue cuando cesa de pertenecer, por decirlo así, al mundo exterior para convertirse en fenómeno interno.

¿Cómo se efectúa este paso? ¿Qué transformación media para que un movimiento vibratorio, como el de las ondas del éter, llegue á producir la sensacion de la vista en el hombre y en los animales? ¿En qué consiste que ciertas variaciones en la amplitud ó velocidad de las vibraciones originen cambios correspondientes en la intensidad de la luz y en los colores de los cuerpos? Cuestiones son estas no resueltas

en su totalidad por la ciencia, y que más bien pertenecen al dominio de la fisiología que al de la física.

Lo que se sabe, lo que la observacion ha permitido estudiar de un modo positivo, es la marcha de los rayos luminosos en el ojo, desde el momento en que penetran en este órgano hasta el en que, llegando á los nervios, se transmite al cerebro la sensacion que producen, determinando en él la sensacion de la vista. En este trayecto, los rayos luminosos obedecen á las conocidas leyes de la propagacion de la luz en medios de forma y densidad variables; en este asunto sólo se trata de fenómenos de simple refraccion.

El ojo no es ni más ni menos que una cámara oscura, cuyo orificio lleva en su parte anterior un vidrio transparente y en la posterior una lente, y cuyo fondo está cubierto por una membrana que sirve de pantalla en la cual se estampan, pero al revés, las imágenes de los objetos externos. Describamos algo detalladamente este admirable órgano.

El ojo humano está, como es sabido, encajado en una cavidad del cráneo llamada *órbita*;

su forma es la de un globo casi esférico, rodeado completamente por una membrana dura y consistente que por su semejanza con el cuerno ha recibido el nombre de *córnea*. La *córnea* se divide en dos segmentos de desigual extensión: el más pequeño A, colocado en la parte anterior del ojo, es de curvatura mucho más marcada que el segmento posterior; parece un cristal de reloj que forma cuerpo con el globo

del ojo: además es perfectamente trasparente é incoloro, al paso que el otro segmento H es opaco y de color blanco-azulado. Se los distingue con los nombres de *córnea trasparente* y *córnea opaca*, constituyendo esta última, que no es trasparente, sino tan sólo diáfana para las luces de gran intensidad, lo que vulgarmente se llama el *blanco del ojo*.

Al través de la *córnea trasparente* se ve una

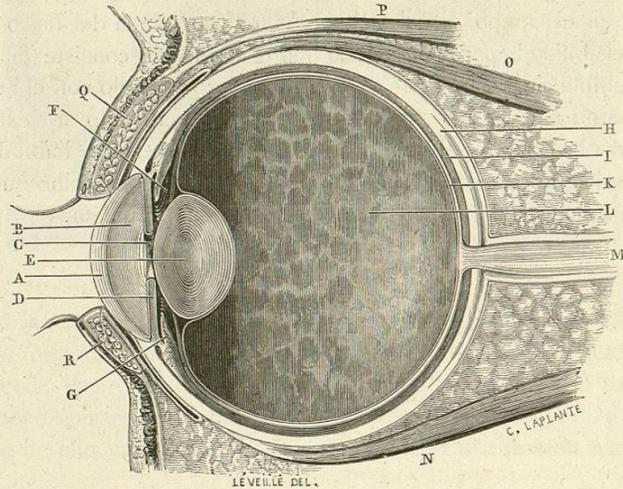


Fig. 179.—Sección diametral antero-posterior del ojo humano

membrana circular, cuyo color varía según las personas ó las razas, siendo gris, azul claro ú oscuro, ó pardo-amarillento. Esta membrana D es el *iris*, especie de diafragma que tiene en su centro un orificio circular también, en el hombre al ménos, y á cuya abertura se da el nombre de *pupila*. Detrás de la pupila, que desempeña las veces del orificio de la cámara oscura, por la cual penetra en el ojo la luz exterior, hay una lenté sólida E que es el *crystalino*, cuya cara anterior presenta una curva ménos pronunciada que la superficie interna. El *crystalino* divide la cavidad del ojo en dos partes ó cámaras de dimensiones muy desiguales, como puede verse en la figura 179. La cámara anterior B, comprendida entre la *córnea trasparente* y el *crystalino*, está llena de un líquido muy parecido al agua pura y dotado poco más ó ménos de igual poder refringente que esta, líquido llamado *licor acuoso*. Entre el *crystalino* y el fondo del ojo se encuentra la cámara posterior, llena por completo de una sustancia trasparente, incolora, de consistencia gelatinosa y algo

más refringente que el agua; es el *humor vítreo* L.

Así, pues, al penetrar un rayo de luz en el ojo, atraviesa la serie de medios refringentes que vamos á enumerar, ántes de llegar al fondo del órgano; la *córnea trasparente*, el humor acuoso, el *crystalino* y el humor vítreo. En cada uno de estos medios sufre una refracción particular, siendo tal el conjunto de sus desviaciones, que su foco va á formarse en la membrana que reviste la cámara posterior del ojo.

Conviene decir aquí que toda la superficie interna de la *córnea opaca* ó *esclerótica*, como se dice en anatomía, está cubierta por una membrana delgada, la *coroides* I, cuya parte cóncava está tapizada de un pigmento negro propio para absorber la luz (1).

Todas las partes del ojo que acabamos de

(1) Este mismo pigmento que tapiza el iris, y cuyo espesor varía, es el que produce el color más ó ménos oscuro de los ojos. Cuando la capa de pigmento es muy delgada los ojos son azules ó garzos; cuando es más gruesa da lugar á un color más oscuro, y cuando falta dicho pigmento resulta la particularidad que ha hecho designar á los individuos que carecen de él con el nombre de *albinos*.

describir son las que contribuyen á la formación de las imágenes de los objetos; siendo sus funciones, por decirlo así, pasivas. En el punto mismo en que se producen estas imágenes, tiene efecto la impresión de la luz sobre la parte sensible del ojo. Veamos cuál es la disposición de esta parte que tan importante papel desempeña en el fenómeno de la visión. Detrás del globo del ojo, la coroides y la *córnea opaca* tienen un agujero circular por el cual pasa el haz de nervios ópticos. Al llegar este haz M al interior del ojo, se dilata y extiende por toda la superficie de la coroides, formando una membrana que está en contacto directo con el humor vítreo, y que es la *retina* K, pantalla sensible de la cámara oscura del ojo.

A corta distancia del punto de inserción de los nervios ópticos, hay en la retina una mancha de color amarillento (*macula lutea*) que tiene gran importancia en la visión, por cuanto en ella es donde se forma siempre la imagen del punto ú objeto en el cual fijamos la vista: es el sitio de la visión más distinta. El ojo del hombre y el del mono son los únicos cuya retina tiene esta mancha amarilla. Las partes contiguas á la retina están dotadas de menos sensibilidad, y sobre todo no gozan en el mismo grado que la mancha amarilla de la facultad de distinguir dos impresiones producidas en puntos muy inmediatos. Hay además otro punto en que esta sensibilidad desaparece por completo: y en efecto, toda la parte del fondo del ojo que corresponde á la entrada del nervio óptico es insensible á la luz. Esta parte es lo que se llama *punto ciego* ó *punctum caecum*, demostrándose por medio de experimentos muy sencillos la existencia de esta región de insensibilidad de la retina.

Uno de ellos se debe al físico Mariotte, y consiste en marcar en un plano vertical, por ejemplo en una pared, una serie de puntos trazados á igual distancia unos de otros. Si el observador se sitúa enfrente de la línea de puntos y contempla uno de ellos cerrando el ojo izquierdo, ve claramente el punto que mira, pero los demás confusamente.

Separándose entónces de la pared, sin apartar la vista del primer punto, llega un momento en que el segundo es invisible, pero á distancia algo mayor aparece de nuevo. En seguida

sucede otro tanto con el tercer punto, luégo con el cuarto, y así sucesivamente con toda la serie. La desaparición de cada punto se efectúa siempre en el momento en que la distancia del ojo á la pared es casi triple (para ciertas vistas cuádruple) de la que media entre el punto que desaparece del primero de la serie, y el que mira con el ojo derecho. Mirando con el izquierdo, sería preciso contemplar el último punto de la derecha. Este mismo experimento puede hacerse de otro modo, limitándose á trazar dos puntos ó círculos.

Trázanse sobre fondo negro dos circulitos blancos ó un círculo y una cruz, separados unos 6 centímetros. Se cierra un ojo, por ejemplo el izquierdo, y con el derecho se mira la cruz con toda fijeza. El observador se aparta ó se retira en seguida poco á poco hasta que la distancia del ojo derecho á la cruz sea un poco más de cuatro veces mayor que el intervalo que media entre ésta y el círculo blanco. En tal momento, este círculo desaparece, y el fondo negro parece continuo. Para que la prueba salga bien, es preciso mirar con toda fijeza la cruz blanca (1).

Es fácil de comprender la marcha de los rayos de luz que emanan de un objeto AB, y de qué manera va este objeto á formar su imagen en la retina. El sistema lenticular compuesto de la *córnea trasparente* y del *crystalino*, separados por el humor acuoso, tiene por centro óptico un punto O, situado algo hácia atrás del *crystalino* (fig. 180). Si se trazan los ejes secundarios AO BO, los haces emanados de los puntos A y B convergen en su prolongación y en el punto en que encuentran la retina, y los puntos intermedios forman sus imágenes entre los puntos a y b: por lo tanto, la imagen del objeto b a será invertida. Este resultado es una consecuencia de las leyes de la refracción y de

(1) Helmholtz describe como sigue un procedimiento merced al cual cualquiera puede determinar fácilmente la forma y las dimensiones aparentes del *punctum caecum*: «Se da al ojo, dice, una posición fija, á 8 ó 12 pulgadas de una hoja de papel blanco, en la cual se haya trazado una crucecita que sirva de punto de mira. Luégo se hace correr sobre el papel, en la proyección del *punctum caecum*, la punta mojada de tinta de una pluma blanca ó al ménos poco oscura; esta punta desaparece de la vista; alejando la pluma sucesivamente, en distintas direcciones, se marca cada vez el punto en que empieza á ser visible. Para designar el tamaño aparente que la mancha ciega ocupa en el campo visual, diremos que podrian ponerse en fila once lunas llenas sin traspasar su diámetro, y que á seis ó siete piés de distancia, puede desaparecer en él por completo una figura humana. (*Optica fisiológica*).