

TEORÍAS DE LA VISIÓN DESDE PTOLOMEO A ALHAZEN

Miguel Hernández González
IES Rafael Arozarena

Vamos a centrar nuestra reflexión en el periodo que se extiende desde Ptolomeo a Alhazen, un período que abarca unos mil años. Parece claro pues, que la exposición deberá ser necesariamente sintética sobre todo porque, además, no es posible entender las teorías de la visión desarrolladas en este largo tramo de tiempo sin inscribirlas dentro de una tradición que se remonta a los inicios del pensamiento filosófico en Grecia. Ello nos obligará a ampliar aun más el período estudiado.

Aristóteles inicia la **Metafísica** con estas palabras: *Todos los hombres tienen naturalmente el deseo de saber. El placer que nos causan las percepciones de nuestros sentidos es una prueba de esta verdad. Nos agradan por sí mismas, independientemente de su utilidad, y sobre todas ellas, las de la vista. En efecto, no sólo cuando tenemos intención de obrar, sino hasta cuando no nos proponemos ningún objeto práctico preferimos, por decirlo así, la vista al resto de los sentidos. La razón es que la vista, mejor que los otros sentidos, nos ayuda a conocer los objetos y nos revela multitud de distinciones.*

No es extraño, pues, que el estudio del proceso de visión así como el de la propia naturaleza de la luz ocupara un lugar central en la reflexión que los griegos hicieron sobre el mundo fenoménico; porque parece claro que *difícilmente podremos entender lo que vemos si no somos capaces de entender cómo vemos.*



Por otra parte hay toda una tradición importante en la que la luz se asocia a los inicios del proceso de creación: *En el principio creó Dios los cielos y la tierra. La Tierra era caos y confusión y oscuridad por encima del abismo, y un viento de Dios aleteaba por encima de las aguas. Dijo Dios: "Haya luz" y hubo luz. Vio Dios que la luz era buena, y apartó Dios la luz de la oscuridad; y llamó Dios a la luz "día" y a la oscuridad la llamó "noche". Y atardeció y amaneció el día primero*, se lee en el **Génesis**; y así se expresa Ra: *Yo soy aquél que abrió sus ojos, y allí se hizo la luz; cuando sus ojos se cierran cae la oscuridad.*

La luz, o el acto de ver, aparece así como elemento articulador e incluso creador del orden cósmico. La metáfora de la luz impregnará todos los códigos de comunicación entre el hombre y la divinidad.

Nuestra charla apenas se ocupará de estos aspectos no por considerarlos irrelevantes para la comprensión de la historia del pensamiento científico de la época sino porque ello nos apartaría de lo que es nuestro objetivo fundamental: la exposición de las distintas teorías de la luz y la visión.

TEORÍAS DE LA VISIÓN EN GRECIA

1.- La naturaleza de la luz para los egipcios aparecía, como pone de manifiesto el texto antes citado, muy clara: *cuando Ra abrió sus ojos, hubo luz; cuando sus ojos se cerraron, cayó la oscuridad.* La mirada de Ra era la luz del día de modo que permanecer a su luz era estar sometido a la mirada de su dios. La luz era, pues, la visión de Dios.

Ecos de este modo de concebir las cosas se encuentran en una de las teorías griegas sobre el proceso de visión: vemos a través de rayos que se emiten en línea recta desde los ojos. A esta corriente de pensamiento sobre la que se articulará la **tradición matemática**, pertenecen Euclides y Ptolomeo.

2.- Para otro conjunto de filósofos no será el ojo el sujeto activo de la visión; mas bien, por el contrario, a él llegarán las impresiones procedentes de los objetos que dejarán su marca, su huella. Los atomistas serán los representantes más conspicuos de esta **tradición** que podemos concepcionar como **física**.

3.- No puede olvidarse, por otra parte, que existe en la ciencia griega una tradición médica –a la que ya se ha prestado atención en conferencias anteriores– y cuyo interés ha sido suficientemente señalado. No es extraño, por tanto, que el proceso de visión fuera estudiado desde esta perspectiva. Existe, pues, una **tradición médica** cuyo máximo exponente es Galeno.

Trataremos por tanto, en una primera aproximación, de hacer comprensibles las razones por las que se sustanciaron cada una de estas corrientes de pensamiento y para ello haremos un breve recuento de fenómenos asociados a la visión y a la luz.



– Sólo vemos aquello que es alcanzado por una línea recta trazada desde el objeto al ojo (o desde el ojo al objeto) –*lo que queda al alcance de nuestra vista*– y no podemos ver en la oscuridad.

– Podemos oír lo que ocurre en la habitación vecina y, por tanto, podemos concluir que existen partículas de sonido enormemente pequeñas que penetran a través de las paredes o techos. Un discurso articulado consta de una serie secuencial de sonidos que podemos imaginar compuesto de un chorro de estas diminutas partículas diferentes entre sí. También las partículas luminosas atraviesan los medios transparentes pero... cuando miramos no vemos de modo secuencial, como en el caso del sonido, sino **todo de una vez**. Lo que llega a nuestros ojos (¡si es que algo llega!) posee unas características diferentes a las de las partículas sonoras porque nos posibilita la formación de un cuadro total en nuestra mente que es distinto en cada instante.

– Pese a que pueda parecer extraño hay un hecho que resulta enormemente paradójico: no vemos la luz sino únicamente los objetos iluminados.

Las teorías más antiguas sobre el proceso de visión se remontan a Empédocles (493–433 a.C.) y a los atomistas Leucipo y Demócrito. Son aquí perceptibles ya esos dos modos de concebir el proceso de visión que, de modo genérico, podemos conceptuar como **extraemisionista** (“algo” sale del ojo e incide sobre el objeto) e **introemisionista** (“algo” procedente del objeto penetra en el ojo).

Los textos que incluimos a continuación son un buen ejemplo de estas concepciones:

Como cuando un hombre, pensando salir en una noche ventosa, se procura una luz, una llama de fuego brillante que rodea con una linterna para protegerla del viento; (...) la luz, la sustancia más fina, pasa a su través e ilumina, sin desviarse, el exterior con sus rayos; así en esos tiempos (cuando Afrodita creó los ojos) el fuego primigenio, encerrado en membranas, hizo nacer la redonda pupila en sus delicados vestidos que están horadados con maravillosos canales. Estos canales mantienen retenida el agua que rodea la pupila pero dejan pasar el fuego que es la materia más sutil. (EMPÉDOCLES, Fragmentos).

Las partículas están siendo emitidas continuamente desde la superficie de los cuerpos y, pese a ello, no se observa disminución alguna porque otras toman su lugar. Esas partículas mantienen, durante un cierto tiempo, las posiciones y organización que sus átomos poseían en el sólido del que formaban parte, pudiendo, en ocasiones, desorganizarse y sumirse en la más amplia desorganización...



Debemos considerar además que es mediante la entrada de algo que procede de los objetos exteriores como vemos sus formas y podemos apprehenderlos. Pues no es mediante el aire o el medio que nos separa de ellos ni mediante rayos o corrientes de diverso tipo como esos objetos estampan en nosotros sus formas o colores sino como consecuencia de la entrada en nuestros ojos o en nuestras mentes de ligeras películas procedentes de esos mismos objetos... (EPICURO, *Carta a Herodoto* en el libro *Vidas de filósofos eminentes* de DIÓGENES LAERCIO)

Para los atomistas el fundamento objetivo de la sensación es única y exclusivamente el contacto, pudiendo éste ser de dos tipos: contacto directo entre la persona que percibe y el objeto percibido –como en el tacto o el gusto–, o contacto entre la persona y los átomos emitidos desde el objeto y que penetran en la nariz, el oído o el ojo –en el caso del olfato, el sonido o la visión–. Su clasificación de las cualidades de los cuerpos en primarias u objetivas (como la impenetrabilidad, dureza, forma, etc.) y secundarias o subjetivas (entre las que se encuentra el color, el olor, sonido, etc.) les permite articular una explicación coherente de los procesos de la naturaleza.

A fin de ilustrar, de un modo menos genérico, esta manera de explicar el mundo quizás convenga, por el tema que nos ocupa, hacer explícito el modo en que explican la percepción del color.

Para Demócrito es la forma de los átomos la razón fundamental de que percibamos los objetos con un color u otro: *El blanco está formado por átomos lisos, por lo que no es rugoso ni oscurecedor, ni difícil de penetrar, siendo especialmente brillante, ya que es necesario que los cuerpos brillantes tengan poros rectos y traslucidos... El negro está hecho de átomos del tipo opuesto, dentados, con lados desiguales y disimilares; de ahí que sus poros sean oscuros, no rectilíneos y difícilmente penetrables por la luz... El rojo está formado por los mismos átomos que lo caliente, pero mayores (...) una indicación de que los átomos rojos son del mismo tipo que los calientes es el hecho de que obtengamos el rojo cuando producimos calor y que todos los cuerpos combustibles sean rojos en tanto que contienen materia ígnea (...) los demás colores son una mezcla de todos éstos* (TEOFRASTO *De sensu*)

Para Epicuro la explicación anterior no da cuenta de los cambios de sabor o color de las sustancias con el paso del tiempo sin introducir la idea de que se produzca una sustitución de un tipo de átomos por otro completamente distinto; por ello propone como solución alternativa imaginar que los cambios cualitativos son el resultado de diferentes agrupaciones de átomos en estructuras que se asemejarían a nuestras actuales moléculas: *Supongamos pues, que los átomos care-*



*cen de color por naturaleza y que es la variedad de las formas de que están dotados la que engendra y hace variar los colores; de ahí que sea importante cómo se combinan, en qué posición y qué movimientos tengan entre sí, a fin de que, fácilmente puedas dar al instante razón de por qué aquellas cosas que eran de color negro un poco antes hayan podido adquirir de repente una pureza marmórea (...). Podrías decir que lo que vemos con frecuencia negro, después de que se haya mezclado su materia y se haya mudado el orden de los átomos y de que se haya puesto o quitado alguna cosa, se hace de tal manera que parece purificado y blanco. (LUCRECIO *De rerum natura*).*

Variaciones sobre este mismo asunto –la visión y la luz– los encontraremos en otros influyentes filósofos griegos. Así, Platón (427–347 a.C.) se ocupará de ello en diversos pasajes del *Timeo* o del *Teeteto*, mientras que Aristóteles (384–322 a.C.) le dedicará su atención en los tratados *Acerca del Alma* y *Sobre las sensaciones*. El estoicismo, al igual que el epicureísmo, también abordará el problema de la visión y de la luz como parte de su reflexión sobre el Cosmos.

Ciertamente, era necesario que la parte delantera del cuerpo humano se diferenciara y distinguiera de la trasera. Por ello, primero pusieron la cara en el recipiente de la cabeza, le ataron los instrumentos necesarios para la previsión del alma y dispusieron que lo anterior por naturaleza poseyera el mando. Los primeros instrumentos que construyeron fueron los ojos portadores de luz y los ataron al rostro por lo siguiente: idearon un cuerpo de aquel fuego que sin quemar produce la suave luz, propia de cada día. En efecto, hicieron que nuestro fuego interior, hermano de ese fuego, fluyera puro a través de los ojos, para lo cual comprimieron todo el órgano y especialmente su centro hasta hacerlo liso y compacto para impedir el paso del más espeso y filtrar sólo el puro. Cuando la luz diurna rodea el flujo visual, entonces, lo semejante cae sobre lo semejante, se combina con él y, en línea recta a los ojos, surge un único cuerpo afín, donde quiera que el rayo proveniente del interior coincida con uno de los extremos. Como causa de la similitud el conjunto tiene cualidades semejantes, siempre que entre en contacto con un objeto o un objeto con él, trasmite sus movimientos a través de todo el cuerpo hasta el alma y produce esa percepción que denominamos visión. Cuando al llegar la noche el fuego que le es afín se marcha, el de la visión se interrumpe, pues el salir hacia lo desemejante muta y se apaga por no ser ya afín al aire próximo que carece de fuego. Entonces deja de ver y se vuelve portador del sueño, pues los dioses idearon una protección de la visión, los párpados. Cuando se cierran, se



bloquea la potencia del fuego interior que disminuye y suaviza los movimientos interiores y cuando estos se han suavizado nace la calma, y cuando la calma es mucha, el que duerme tiene pocos sueños. Pero cuando quedan algunos movimientos de mayor envergadura, según sea su cualidad y los lugares en los que quedan, así es el tipo y la cantidad de las copias interiores que producen y que, al despertar, recordamos como imágenes exteriores. (PLATÓN, Timeo)

La visión no es pues el resultado de la fusión o coalescencia de una emanación procedente de los objetos con otra procedente del ojo sino del encuentro entre la emanación del objeto y el cuerpo único homogéneo formado por la fusión previa de la emanación ocular y la luz del día. A través de este encuentro se transmiten los movimientos al alma donde producen sensaciones.

Aristóteles rechaza las teorías precedentes sobre la luz y la visión; para él, la luz no es ni una emanación corpuscular y la visión no es producida por ninguna emanación material desde el ojo al objeto ni desde éste a aquél. Su atención se centra en el medio, que considera imprescindible, como se pone de manifiesto en el tratado *Acerca del alma*, donde escribe: *Una prueba evidente de ello es que si colocamos cualquier cosa que tenga color directamente sobre el órgano mismo de la vista, no se ve. El funcionamiento adecuado, por el contrario, consiste en que el color ponga en movimiento lo transparente –por ejemplo el aire– y el órgano sensorial sea, a su vez, movido por éste último con quien está en contacto. No se expresa acertadamente Demócrito en este punto cuando opina que si se produjera el vacío entre el órgano y el objeto, se vería hasta el más mínimo detalle, hasta una hormiga que estuviera en el cielo. Esto es, desde luego, imposible. En efecto, la visión se produce cuando el órgano sensorial padece una cierta afección; ahora bien, es imposible que padezca influjo alguno bajo la acción del color percibido, luego ha de ser bajo la acción de un agente intermedio; por fuerza ha de haber, pues, algo intermedio y, por tanto, hecho el vacío, no sólo no se verá hasta el más mínimo detalle, sino que no se verá nada en absoluto. (ARISTÓTELES, *Acerca del alma*)*

A lo largo del texto anterior Aristóteles ha introducido diversos conceptos e ideas que es necesario precisar: por un lado, establece con claridad que la percepción se produce como consecuencia de que el órgano sensorial padece una cierta afección, su esquema es, pues, introemisionista, no obstante ello no quiere decir, ni mucho menos, que esa emanación que procede de los objetos coloreados sea material al modo en que lo son los *eidola* o *simulacros* de los atomistas; por otro, Aristóteles, consciente de que la luz no es realmente visible y de que no se ve en la oscuridad, introduce la noción de *transparencia* en estos términos: *Y llamo “transparente” a aquello que es visible si bien –por decirlo en una palabra– no es*



visible por sí, sino en virtud de un color ajeno a él. Tales son el aire, el agua y multitud de sólidos: no son transparentes, en efecto, ni en tanto que agua ni en tanto que aire, sino porque en ellos se da una cierta naturaleza, la misma que se da en el cuerpo eterno situado en la región más alta del firmamento. Para Aristóteles, pues, lo transparente es visible en tanto que comunica al observador el color de los cuerpos situados al otro lado; lo transparente no es algo que se ve sino algo a través de lo que se ve. La luz, por otra parte, aparece definida como un estado de lo transparente, —estado que resulta de la presencia del fuego o de cualquier otro cuerpo luminoso—; es, en un lenguaje propio del sistema aristotélico —la actualización de la transparencia—, la adquisición de ese estado en el que la transparencia no es mera potencialidad sino plena actualidad de modo que los objetos separados del observador por el medio, resultan visibles. (...) La luz, a su vez, es el acto de esto, de lo transparente en tanto que transparente. Por el contrario, en los cuerpos transparentes en potencia se da la oscuridad (...) lo oscuro no es sino lo transparente pero no cuando es transparente en acto, sino cuando lo es en potencia: es que la misma naturaleza es unas veces oscuridad y otras luz. Al ser un estado del medio, más que una sustancia, la luz no necesita tiempo para propagarse ya que todo el medio puede pasar de lo potencial a lo actual instantáneamente. Aristóteles, consciente de que parece verse “de golpe”, criticará a aquellos que sostienen que la luz tarda en ir de un lugar a otro: (...) Y han cometido un error Empédocles y quienquiera que con él haya afirmado que la presencia de la luz se produce al desplazarse ésta y situarse en un momento dado entre la Tierra y la capa celeste que la rodea, si bien tal movimiento nos pasa inadvertido. Tal afirmación, desde luego, no concuerda ni con la verdad del razonamiento ni con la evidencia de los hechos: y es que cabría que su desplazamiento nos pasara inadvertido tratándose de una distancia pequeña; pero que de oriente a occidente nos pase inadvertido constituye, en verdad, una suposición colosal

Finalmente *el color*, que no es otra cosa que aquello que recubre la superficie de los objetos visibles y que tiene el poder de poner en movimiento lo transparente en acto —entendido el movimiento como capacidad para producir nuevos cambios cualitativos en el medio—, aparece definido con estas palabras: (...) *Todo color es un agente capaz de poner en movimiento a lo transparente en acto y en esto consiste su naturaleza. He ahí por qué el color no es visible si no hay luz, mientras que a la luz, el color de cualquier cosa resulta visible.*

La teoría aristotélica de la visión podría resumirse brevemente del modo siguiente: la visión —y también el resto de las sensaciones— se realiza a través de un medio que en este caso es lo transparente o diáfano. La transparencia en cuanto posibilidad o potencia pertenece a diversos cuerpos, por ejemplo el aire o el agua. La actualización o acto de la transparencia es la luz; ésta es, por tanto, un estado de lo transparente como tal y no un movimiento: su aparición es instantánea. El



color, en fin, actúa sobre lo transparente en acto que, a su vez, actúa sobre el órgano correspondiente.

La importancia del medio que separa al observador del objeto observado, tiene también una importancia fundamental en la **teoría estoica** del proceso de la visión y ello no debe sorprendernos si se tiene en cuenta que para los miembros de esta corriente filosófica el Cosmos aparece como un todo continuo y dinámico, ligado por la actividad del *pneuma*.

¿Qué es este *pneuma* que va a jugar un papel esencial en su teoría de la visión?. Sus orígenes se hallan en Anaxímenes –para el cual “el aire” rodea el universo del mismo modo que el alma (que es aire) mantiene la cohesión de los organismos vivos– y, a través de Empédocles –que consideraba que la sustancia que llena el universo, al modo de un alma, es un *pneuma*– llega a los estoicos. Para ellos el *pneuma* está compuesto de aire y fuego –dos sustancias que poseen propiedades elásticas– y llena el cosmos haciendo posible la cohesión de su materia por medio de su propiedad fundamental: la tensión. *Hay quienes, como los estoicos, dicen que existe una “toniké kinesis” (un movimiento de tensión) en las sustancias que mueve simultáneamente hacia dentro y hacia fuera. El movimiento hacia fuera da lugar a las cantidades y cualidades, mientras que el movimiento hacia dentro produce la unidad y la sustancia.*

El *pneuma* es una sustancia continua cuyo movimiento no consiste en desplazamiento, sino en propagación de “estados” dentro de un “continuo”.

La teoría estoica de la percepción llevada a su más elaborada forma por Galeno (129–199 d.C.) está apoyada sobre la propagación de estos estados de tensión y así, la visión se debe a que un flujo de *pneuma* pasa desde el asiento de la consciencia (el *hegemonikon*) al ojo y excita el aire adyacente poniéndolo en un estado de tensión. A través de este aire tenso, simultáneamente iluminado por el sol, se establece el contacto con el objeto visible; el medio, en este caso el aire, transformado por la acción conjunta de la luz del sol y el *pneuma* óptico, se convierte en un instrumento del alma, deviniendo perceptivo, es pues, en gran medida, una extensión de nosotros mismos. Su teoría de la visión comparte, al menos en parte, el enfoque de la corriente extraemisionista aunque, sin duda, la percepción del objeto visto implique, al menos en una segunda fase, que “algo” vuelva desde el objeto al “alma” para ser percibido.

Por otra parte, será Galeno el que introducirá por primera vez todo un conjunto de detalles de naturaleza anatómica y fisiológica en las teorías de la visión. Así, además de las funciones del nervio óptico como transmisor del *pneuma* a los ojos, atribuirá al cristalino el papel fundamental como órgano de la vista y describirá con detalle los restantes órganos oculares –la retina, la córnea, el iris, los humores vítreo y cristalino, etc.



EUCLIDES Y PTOLOMEO

Puede ser interesante desarrollar un breve estudio comparado de estos dos autores que comparten una concepción extraemisionista del proceso de visión y que adoptan un modo matemático de abordar el proceso de visión. Ambos han sido estudiados, en este Seminario, en relación con otros temas: el primero como representante eximio de la Matemática griega que se canonizó en *Los Elementos* y el segundo como autor de la más precisa teoría astronómica de la antigüedad compendiada en *La sintaxis matemática (el Almagesto)*. Ambos aparecen encuadrados dentro de ese largo período que se conoce como Helenismo alcanzando, el primero, su período de máximo esplendor en torno al 300 a.C. y el segundo, alrededor del 130 d.C. No es extraño, pues, que sus investigaciones, al igual que las de otros importantes representantes de la ciencia helenística, huyan de las grandes concepciones que marcaron la etapa de oro del pensamiento filosófico clásico y se centren en parcelas de conocimiento más concreto.

Sus obras, pese a estar encuadradas dentro de la corriente matemática, no están vacías de física, aunque ésta no ocupa el núcleo central de sus tratados ni, en muchos casos, se hace especialmente explícita. Hemos de recordar que, como tuvimos ocasión de argumentar en nuestra charla sobre *Física y matemáticas en Grecia*, los procesos ópticos son abordados desde una perspectiva totalmente estática (la única susceptible de matematizarse dadas las limitaciones de la matemática griega para “atrapar lo móvil”) y esencialmente geométrica.

LA ÓPTICA DE EUCLIDES

El Tratado consiste en un conjunto de definiciones (7) –en las que pueden rastrearse ciertas concepciones físicas–, seguido de 58 teoremas demostrados geoméricamente.

Definiciones

Supóngase:

- 1) *Que los rayos rectilíneos procedentes del ojo divergen indefinidamente.*
- 2) *Que la figura contenida por un conjunto de rayos visuales es un cono del que el vértice está en el ojo y la base en la superficie del objeto visto.*
- 3) *Que las cosas vistas son aquellas sobre las que caen los rayos visuales y las no vistas aquellas otras sobre las que los rayos visuales no inciden.*
- 4) *Que las cosas que se ven bajo un ángulo mayor, aparecen mayores, las que se ven bajo un ángulo menor aparecen menores y las que se ven bajo el mismo ángulo aparecen iguales.*



- 5) *Que las cosas que se ven bajo rayos visuales más altos aparecen más altos y las cosas que se ven bajo rayos visuales más bajos aparecen más bajos.*
- 6) *Que, de modo similar, aquellas vistas por los rayos más hacia la derecha aparecen más a la derecha y las que se ven más hacia la izquierda aparecen más hacia la izquierda.*
- 7) *Que las cosas vistas bajo mayor número de ángulos se ven con más claridad.*

El ojo aparece en estos postulados como un agente activo en el proceso de visión, emitiendo “algo” para aprehender el objeto observado. Dentro del cono de rayos visuales hay regiones que se “sienten” y otras que no; parece claro pues, que los rayos visuales no son meros recursos geométricos sino que, por el contrario, son agentes físicos en el proceso de visión. En el postulado 7.º y en la proposición 2.ª se intenta dar una explicación física del grado de claridad de una percepción y se concluye que éste depende del número de ángulos bajo el que se ve un objeto o, dicho de otro modo, del número de rayos visuales interceptados por el objeto.

Veamos a continuación, a modo de ejemplo, algunas de las proposiciones demostradas por Euclides:

Proposición II: *De magnitudes iguales situadas a diferentes distancias, las que están más cerca aparecen más claras.*

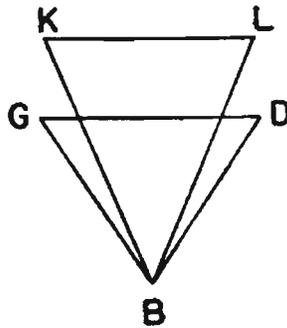


Figura 1

Los rayos visuales a KL no pasan por los puntos G y D porque si lo hicieran, en el triángulo que resultaría BDLKGB, KL sería mayor que GD en contra de lo que hemos supuesto.

El segmento GD será, por tanto, visto por más rayos visuales que el KL y en consecuencia aparecerá más claro ya que los objetos vistos bajo un mayor número de ángulos resultan más nítidos.



Proposición IV: *De los intervalos iguales situados sobre la misma recta, aquellas que se ven desde una distancia mayor aparecen más pequeñas.*

Proposición VI: *Las líneas paralelas, cuando se ven desde una cierta distancia aparecen desigualmente separadas.*

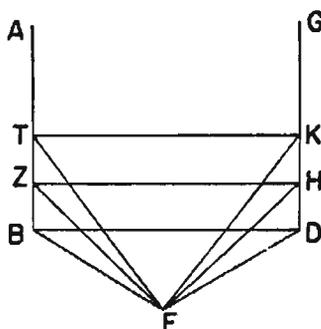


Figura 2

Se trata de mostrar que los segmentos TK, ZH, BD aparecen, vistos desde E, distintos y, en concreto, $TK < ZH < BD$.

La demostración es inmediata, sin más que ver que $\widehat{ZEH} > \widehat{TEK} \Rightarrow ZH > TK$ al verse a través de más ángulos que TK.

De igual modo $BD > ZH$.

$BD > ZH > TK$ en apariencia

Los intervalos entre paralelas no aparecen por tanto iguales, sino desiguales

LA ÓPTICA DE PTOLOMEO

En el libro hay un mayor énfasis en los aspectos físicos de la radiación visual y en él son perceptibles influencias de Platón y los estoicos e, incluso, de Aristóteles. El flujo visual parece concebirse en ocasiones como una emanación de *pneuma* desde el ojo, pasando a ser los rayos, líneas a través de las que se “siente” por medio del aire que rodea al ojo; en otros momentos, como cuando trata de abordar los fenómenos de reflexión y refracción, los rayos parecen adoptar la forma de emanaciones de partículas. En cualquier caso, emitidos a gran velocidad, los rayos golpean los objetos externos y, al hacer esto, los perciben –los sienten– visualmente. La vista se asemeja, pues, al tacto en el modo en que opera.



Por otra parte, la sensibilidad del flujo visual es variable, disminuyendo con la distancia y con la oblicuidad respecto al eje del cono (conviene hacer notar que estos hechos los infiere Ptolomeo de la experiencia –a la que concede una mayor importancia explícita que Euclides– pues, no en vano, los objetos alejados se perciben con menor nitidez –desapareciendo incluso del campo visual– y para ver bien hay que hacer incidir la vista –el eje del cono visual– sobre el objeto, como pone de manifiesto el que la visión periférica sea reducida).

Una teoría sobre el proceso de la visión, y el libro de Ptolomeo en gran medida lo es, debe ser capaz de dar una explicación articulada sobre el modo en que se capta la distancia y la orientación de los objetos o, expresado de otro modo, con esa teoría debe poder organizarse coherentemente el espacio circundante. ¿Cómo se trata, pues, este asunto en el libro?

La longitud de los rayos y la oblicuidad en relación al eje visual no sólo determinan la agudeza visual sino que, además, determinan la percepción espacial que está íntimamente ligada a la aprehensión de la distancia y la orientación. La primera se detecta mediante la longitud de los rayos que están dotados de la capacidad de “sentir” su extensión medida desde el centro visual; la orientación es atrapada de dos modos, en uno de ellos se admite que los rayos poseen la capacidad de aprehender su desviación derecha –izquierda y arriba– abajo en relación al eje óptico; el otro implica un análisis comparativo de las longitudes de todos los rayos que inciden sobre la superficie del objeto. En ambos casos el referente básico es el eje visual, en relación con el cual se determinan en última instancia la izquierda, la derecha, arriba y abajo así como la inclinación. Se define así un sistema de coordenadas tridimensional que permite integrar en él todo el campo visual y en él se es capaz de detectar posiciones, dimensiones, formas y movimientos de los objetos que se encuentran en él.

El tono del libro de Ptolomeo podemos percibirlo presentando el modo en que aborda alguno de esos diferentes aspectos de la visión y en concreto uno de los temas presentados anteriormente al ilustrar la teoría de Euclides (la aprehensión del tamaño de los objetos).

A su juicio, Euclides, resuelve este asunto de un modo excesivamente simplista usando solo argumentos geométricos que se apoyan en la medida del ángulo visual. Para Ptolomeo también es necesario, además, tomar en consideración la oblicuidad y la distancia (en su análisis sostendrá pues que la distancia y la oblicuidad son perceptibles por el sujeto que observa y por ello el proceso de aprehensión no es estrictamente geométrico) aunque su “peso” sea menor que el de aquél.

Así, en el libro II, escribirá:

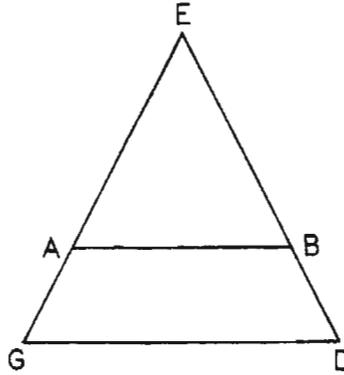
Ejemplo II. 1:

Si dos magnitudes, AB y GD, tienen la misma orientación y subtenden el mismo ángulo en E, entonces, como AB no se encuen-



tra a la misma distancia de E que GD sino que está más próxima, AB no aparecerá nunca mayor que GD como podría suponerse dada su proximidad. En lugar de ello aparecerá más pequeña (cuando la distancia que las separa sea perceptible) o aparecerá igual (cuando las diferencia en la distancia relativa sea imperceptible).

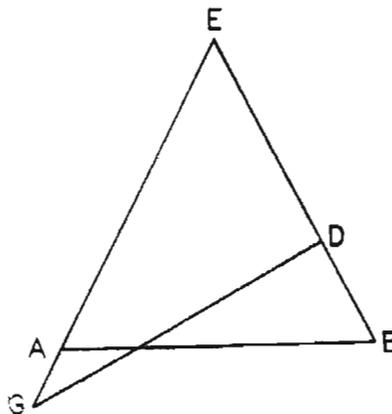
Figura 3



Ejemplo II. 2:

De igual modo, si hay dos magnitudes AB y GD que subtienden un mismo ángulo en E y se hallan a la misma distancia de este punto pero su orientación es distinta, de modo que AB se halla directamente enfrente mientras que la otra, GD , se encuentra situada oblicuamente, entonces AB no aparecerá nunca mayor que GD . Por el contrario, aparecerá más pequeña que GD (cuando la diferencia de orientación sea perceptible) o, en todo caso, igual (cuando la diferencias de orientación sea imperceptible).

Figura 4



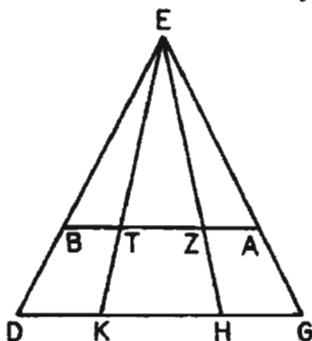


Parece, por tanto, que la comparación de medidas entre estos objetos proviene del juicio más que de la naturaleza efectiva de la orientación o la distancia (...).

Ejemplo II. 3:

Si en la figura correspondiente al ejemplo II.1, dibujamos el ángulo formado por las líneas HZE y ETK, entonces la magnitud GD aparecerá siempre mayor que ZT, porque está más alejada y el ángulo subtendido es mayor. Pero HK no aparecerá nunca mayor que AB ya que el juicio basado en el ángulo no es compensado por un juicio que se base sólo en la distancia. No obstante, HK aparecerá menor que AB si las distancias y ángulos difieren sensiblemente pero cuando esta diferencia sea imperceptible, las magnitudes aparecerán iguales como sucedía en el caso ejemplificado en II.1.

Figura 5

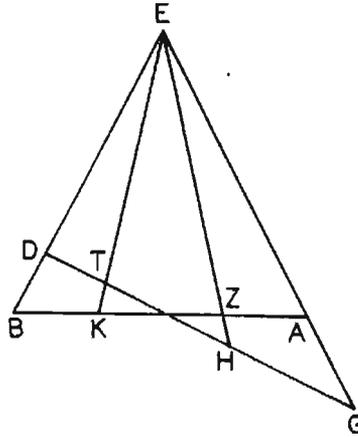


Ejemplo II. 4

Si en la figura correspondiente al ejemplo II.2, (...) construimos el ángulo formado por las líneas KTE y EZH, la magnitud GD aparecerá siempre mayor que ZK porque la dimensión del ángulo subtendido y la oblicuidad conspiran conjuntamente para hacerla aparecer mayor. Además, HT nunca aparecerá mayor que AB porque el juicio basado en el ángulo no es compensado por el juicio basado solamente sobre la orientación. HT aparecerá más pequeña que AB si la oblicuidad y los ángulos difieren perceptiblemente mientras que aparecerán iguales si su diferencia es imperceptible.



Figura 6



Además del tratamiento de las ilusiones ópticas, para las que establece una clasificación según que puedan atribuirse a factores objetivos o a causas subjetivas, el tratado de Ptolomeo se ocupa en los libros III y IV de la reflexión (*Catóptrica*) y en el V de la refracción (*Dióptrica*). El estudio de este último fenómeno tendrá, con posterioridad, una influencia fundamental sobre el desarrollo de la teoría de la visión.

BREVES APUNTES SOBRE LA ÓPTICA EN EL MUNDO ÁRABE

También aquí están representadas las tres corrientes a las que hemos nos hemos referido en la panorámica somera realizada sobre las teorías de la visión en Grecia.

1.- Así, **Al-Kindi** (finales del siglo VIII) aparece como un defensor, aunque crítico, de las teorías de Euclides. Se alinea, pues, con los partidarios de las teorías extraemisionistas y lanza una crítica profunda contra la idea introemisionista que, a su juicio, es insostenible. Revisa, no obstante, la teoría del cono visual y concibe el modo en que se percibe, a través de él, de un modo diferente a como lo hacen Euclides y Ptolomeo.

1.1.- Crítica del introemisionismo

A juicio de Al-Kindi todas las teorías de la visión desarrolladas en Grecia, excepto la de Euclides, tienen algún elemento introemisionista por lo que, a fin de defender a aquélla, somete a crítica exhaustiva la idea introemisionista.



Sus argumentos son de diversa naturaleza y a lo largo de ellos no duda en apoyarse en las razones más diversas. Así repetirá el argumento aristotélico acerca de la capacidad de las personas de vista débil para percibir su propia imagen frente a ellos *“a causa de que el poder procedente de la vista, cuando no puede penetrar el aire a causa de su debilidad, retorna a través del aire al cuerpo del observador.* Siguiendo a Teón de Alejandría afirma que la estructura del órgano determina su funcionamiento y, a diferencia de los oídos, huecos para recoger el aire que produce sonido, el ojo, esférico y móvil, está diseñado no para recoger impresiones sino para, a través de su movilidad, desplazarse y seleccionar el objeto sobre el que enviará sus rayos. Otro argumento es que sólo la teoría extraemisionista tiene capacidad para explicar la selectividad de la mirada y la dependencia de la agudeza con la posición dentro del campo visual

Por otra parte, el proceso de aprehensión del objeto en las teorías introemisionistas es, a juicio de Al.Kindi, “global”: es decir, si las formas de los objetos sensibles penetran en el ojo, entonces, la perspectiva con la que son observados no tiene por qué tener ninguna influencia y un círculo, visto desde cualquier punto, debe aprehenderse siempre como tal. No obstante y (...) *por el contrario, cuando los círculos y el observador están en el mismo plano, los círculos son vistos como rectas. Por tanto –concluye– un cierto poder va desde el observador a los objetos y por medio de él aquellos son percibidos.*

1.2.- Naturaleza de los “rayos visuales”

Para Al-Kindi la teoría de Euclides que mantiene que los rayos visuales tienen un carácter discreto, resulta insostenible. Éstos deben tener anchura y longitud y el cono visual debe ser continuo.

1.3.- Variaciones de sensibilidad dentro del cono visual

Al-Kindi, al polemizar con los seguidores de Euclides, se ve obligado a reconsiderar las razones por las que los objetos cerca del eje visual se ven con más nitidez que aquellos otros que están en la periferia. Concluye que ello no se debe, como aseguran los euclidianos, a que el rayo que se dirige a lo largo del eje visual sea el más corto y por tanto el que percibe con mayor fuerza –parece aceptarse así que la potencia perceptiva varía en relación inversa a la longitud del rayo– sino a otras razones. Que no es así se demuestra, a su juicio, sin más que observar que un objeto colocado en el punto de la periferia E está más próximo que otro, sobre el eje óptico, situado en D y, sin embargo, éste último aparece más nítido. De hecho,



dirá, una estrella situada a lo largo del eje óptico aparece más nítida que cualquier objeto situado en los laterales del campo visual. El factor determinante de la claridad e visión no es, pues, la longitud del rayo.

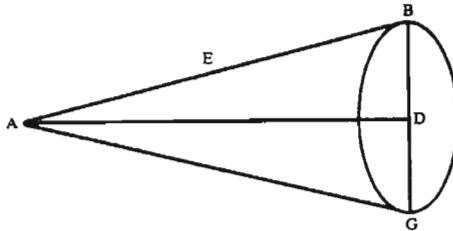


Figura 7

Las razones para Al-Kindi son de dos tipos:

a) Su teoría se inscribe dentro de la tradición estoica y por ello afirma que al ser la acción de ver una transformación del medio, éste se modifica de diferente modo según sea el poder del rayo. El rayo axial posee en mayor grado que cualquier otro esta capacidad de modificación y a través de él se percibe con mayor nitidez.

b) Por otra parte, y al igual que lo que sucede cuando a una linterna se añade otra: crece la iluminación, los lugares sobre los que inciden más rayos visuales se ven con mayor claridad. A fin de ilustrar como se explica geoméricamente este hecho haremos referencia a la figura.

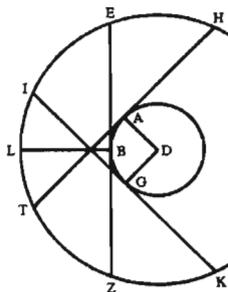


Figura 8

Parece, pues, que la mayor claridad con la que se perciben los objetos alineados con el eje óptico se debe, no a la mayor potencia de los rayos emitidos a lo largo de él, sino al hecho de que están en la zona que recibe una mayor cantidad de ellos. Estos rayos proceden de la parte exterior del ojo que se convierte así en el elemento activo —se separa pues de Euclides y Ptolomeo que situaban el centro de actividad (el vértice del cono visual) dentro del ojo—.

Es también importante señalar que Al-Kindi introduce, en la proposición que acabamos de comentar, serias correcciones al modelo de cono visual de la tradición matemática anterior porque aquí llegan a cada punto del campo visual multitud de rayos en lugar del rayo único que lo alcanzaba en las teorías de Euclides y Ptolomeo.

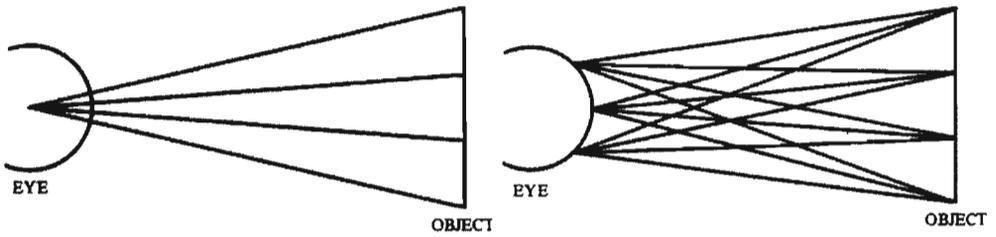


Fig 9 y 10

2.- La enorme influencia de **Galeno**, como consecuencia del profundo interés que suscitó en el Islam la medicina, provocó que la física médica tuviera importantes defensores, entre los que cabe destacar a **Hunain ibn Ishaq** (muerto en el 877). Hunain se centra, en el libro *Diez tratados sobre el ojo* (*Sobre las estructuras del ojo, sus enfermedades y sus tratamientos*), en la descripción de la anatomía y fisiología ocular y en el estudio de los nervios ópticos, desarrollando, en la última parte del tercero de ellos, una teoría de la visión de raíces profundamente galénicas.

2.1.- ¿Cómo concebían los médicos de la época el proceso de percepción visual? ¿qué conocían sobre anatomía y fisiología ocular?

Acabamos de apuntar la enorme influencia ejercida por Galeno en la medicina árabe, no es extraño por tanto que la anatomía y fisiología del ojo sea, en el Islam, profundamente galénica. Así, Hunain, usa, en los dos primeros capítulos del libro antes referido, el contenido del libro 10 del tratado de Galeno *Del uso de las partes*.

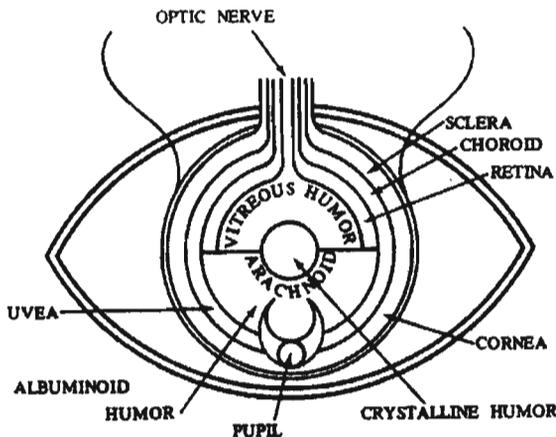


Figura 11



El objeto central del ojo es el *humor cristalino* que es incoloro, transparente, luminoso y redondo. Su redondez no es, no obstante, total puesto que presenta un cierto achatamiento cuya finalidad no es otra que *permitirle recibir más impresiones de los objetos perceptibles que las que recibiría en el caso de que fuera perfectamente redondo; ya que un cuerpo achatado encuentra más de los objetos que están en su camino que lo que encuentra un cuerpo esférico perfecto*. El humor cristalino ocupa la posición central del ojo no sólo con el objeto de recibir los servicios de los otros humores oculares y tónicas sino como expresión de su rango al ser el asiento o sede del poder visual.

Detrás del humor cristalino está el *humor vítreo* cuya función principal es la de nutrir al primero mediando entre él y los vasos sanguíneos de la retina. Hunain lo expresa así: *La nutrición tiene lugar de este sabio modo: que el miembro nutrido reciba una adición de sustancia que posea su misma naturaleza (...) Como las lentes necesitan nutrirse y como, según hemos ya señalado, su humor es blanco, transparente y luminoso, resulta imposible que reciba su nutrición directamente de la sangre. Se requiere un elemento de intermediación entre él y la sangre; el humor vítreo, de características más próximas a la blancura y transparencia que la sangre, cumple esa función. Por ello el humor vítreo tiene una posición adyacente a las lentes, sin separación alguna, y éstas yacen sumergidas en aquél.*

Detrás del humor vítreo hay tres tónicas: *la retina, la coroide y la esclerótica*. La retina nace desde el nervio óptico y encierra el humor vítreo. A través de sus venas y arterias nutre a éste y por su intermedio al humor cristalino, transportando además a este último, por medio del nervio óptico, el *pneuma* visual. La coroide, que nace de la envoltura interior del nervio óptico, cubre y alimenta a la retina mientras que la esclerótica, nace de la envoltura externa del nervio óptico y su función es eminentemente protectora.

Hay también un humor y tres tónicas en la parte anterior del cristalino. El *humor acuoso* (o albuminoide) de apariencia similar a la clara de un huevo, separa el humor cristalino de *la úvea* (túnica que se asemeja a la cáscara de una uva y que prolonga la coroide por la parte anterior del ojo) y su función es nutrir y humedecer al cristalino. La úvea que posee una apertura en su parte anterior a través de la cual puede salir el *pneuma*, nutre, a su vez, a la córnea y evita que ésta pueda dañar al cristalino. *La córnea*, prolongación de la esclerótica, es transparente y dura actuando como elemento de protección del globo ocular. Finalmente una última túnica, *la conjuntiva*, recubre el conjunto.

Además del globo ocular, el aparato óptico consta de los denominados nervios ópticos que nacen en la parte posterior de los ventrículos anteriores del cerebro, se unen brevemente en el *quiasma óptico* y se dirigen a los ojos, de modo que *el nervio que tiene su origen en la parte derecha del cerebro va al ojo derecho y el*



que nace en el lado izquierdo termina también en el ojo izquierdo. Los nervios ópticos son huecos de modo que puedan actuar como canales que conducen el *pneuma* óptico desde el cerebro a los ojos.

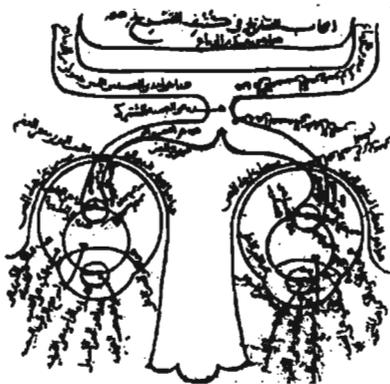


Figura 12

La función del quiasma óptico es, para Hunain, la de redistribuir el *pneuma*, de forma que cuando se ciega o se cierra un ojo el que queda abierto expelle mayor cantidad de fluido visual reforzándose su capacidad perceptiva: (...) *si uno cierra uno de los ojos, la visión obtenida con el otro deviene más clara y aguda. La razón no es otra que el que todo el poder que antes se repartía entre los dos ojos ...ahora se concentra en uno sólo.* Esto queda confirmado, a su juicio, porque si se cierra un ojo, la pupila del otro se agranda como consecuencia de que la úvea se distiende a causa del incremento de *pneuma* que sale a través del ojo abierto.

Otra de las funciones de este quiasma, cuya importancia no necesita justificarse, es la de dotar al fluido visual de un origen común a fin de que la visión binocular no genere dos imágenes distintas.

Este esquema anatómico y fisiológico será utilizado, con algunas ligeras matizaciones, por todos aquellos que se ocuparon del problema de la visión en el mundo islámico.

3.- Las traducciones de Aristóteles al árabe fueron múltiples y muy tempranas, no es extraño que su filosofía ejerciera una influencia importantísima en todos los campos del saber y en concreto en el ámbito de la Física. Su psicología, como ya hemos señalado con anterioridad, conceptúa a los órganos de los sentidos como elementos pasivos en los procesos de percepción y por ello el extraemisionismo no tiene cabida en su sistema. No es extraño, pues, que los aristotélicos árabes desarrollaran una crítica acerada de las teorías extraemisionistas en sus diferentes versiones euclídea y estoica.



3.1.- Crítica del extraemisionismo

Serán **Avicena** (980–1037) y **Averroes** (1126–1198) los dos filósofos árabes que con mayor rigor defenderán las tesis aristotélicas sobre el proceso de visión; someterán por ello a crítica la física extraemisionista que subyace en las corrientes euclídea y estoica.

a) Refutación de la teoría euclídea de la visión: A fin de tomar en consideración todas las alternativas presentes en el esquema euclídeo, Avicena considera cuatro modos de “entender” dicho esquema: a) la sustancia emitida por el ojo radialmente es de naturaleza corpórea y continua y mediante ella se establece el contacto entre el ojo y el objeto visible; b) lo que se emite desde el ojo del observador es una sustancia continua que hace contacto con el objeto visible desligándose de aquél; c) la sustancia emitida desde el ojo consta de rayos separados que tocan al objeto sólo en ciertos puntos del mismo; y d) la sustancia corpórea no establece contacto alguno con el objeto visible.

Para Avicena resulta absurdo suponer que algo tan pequeño como el ojo puede emitir una sustancia material continua capaz de llenar una semiesfera tan amplia como la que visualizan nuestros ojos. Por otra parte esa emisión material, de acuerdo con el principio general de que dos cuerpos no pueden ocupar simultáneamente el mismo lugar, deberá barrer el aire existente entre el objeto visto y el foco emisor. A Avicena tal posibilidad le resulta absurda. A su juicio, además, el hecho de que sea la base del cono visual la que perciba el tamaño y forma de los objetos impide explicar el por qué los objetos más alejados nos resultan más pequeños –dotar de contenido físico a la teoría euclídea la inhabilita, pues, para explicar la perspectiva–. A este tema volverá más tarde cuando defienda la concepción aristotélica.

La tercera de las versiones, que es en realidad la más próxima a las ideas de Euclides, tiene, desde el punto de vista de Avicena, la dificultad de que al percibir los rayos sólo aquello que tocan, el observador *sólo verá las zonas donde estos rayos caigan y dejará de ver aquellas otras donde los rayos no incidan; el cuerpo solo será, así, percibido parcialmente (...)*. Por otra parte, y como consecuencia de la imposibilidad de existencia del vacío, Avicena se interroga en estos términos: Si los rayos visuales penetran en el agua –puesto que vemos a través de ella– creando pasadizos que antes no existían, ¿cómo es que no aumenta el volumen del líquido a causa de la adición de la sustancia corpórea de los rayos visuales?

b) Refutación de la teoría galénica: de acuerdo con su conceptualización, los partidarios de esta teoría sostienen que los rayos emitidos por el ojo no perciben directamente el objeto visible sino que utilizan el medio transparente –aire o cualquier otro– que hay entre observador y objeto observado, como su instrumento.



El medio transparente, pues, adquiere una nueva disposición o estado de tensión que, a juicio de Avicena, resulta imposible porque ello implicaría que tal estado sería compartido por todos los que en aquél momento estuvieran observando el objeto y, así, *las personas de vista debilitada verían mejor si se agruparan (...) y un hombre de poca vista vería con más nitidez si estuviera cerca de otro cuya visión es más potente (...)* Constatamos que un hombre de vista debilitada no mejora su visión uniéndose a otros con mejor vista o a muchos otros también débiles de vista. Esta opinión es, por tanto, falsa. La conversión del medio en “algo” distinto –bien sea transmisor de las impresiones visuales a cada individuo concreto o bien prolongación del órgano visual que siente– por la acción del *pneuma* es criticada ampliamente por Avicena en su tratado **Kitab al-Shifa** en el que concluye que la teoría galénica debe rechazarse por redundante.

c) Reafirmación de la teoría aristotélica: en el libro que acabamos de mencionar Avicena afirma: *Al igual que otros sensibles no son percibidos porque algo se extienda desde los órganos de los sentidos hacia ellos y los encuentre o se una a ellos o les envíe un mensajero, la visión no tiene lugar como consecuencia de que sea emitido un rayo, de una u otra manera, y alcance al objeto sino a causa de que la forma del objeto llega a la vista transmitido por el medio transparente.* Avicena acepta en todos sus extremos la versión expuesta por Aristóteles en el tratado *Acerca del Alma* (comentada más arriba) pero la lleva un poco más lejos tratando de incorporar lo que de más atractivo tiene la teoría euclídea: su lenguaje matemático, y para ello no duda en afirmar lo siguiente: *el ojo es como un espejo, y el objeto visible es como el objeto que se refleja en un espejo por la mediación del aire o de otro cuerpo transparente; y cuando la luz incide sobre el objeto visible, proyecta la imagen del objeto sobre el ojo (...)* Si un espejo poseyera alma, vería la imagen que se forma sobre él.

Puede resultar interesante analizar la explicación que da Avicena al cambio de tamaño de los objetos con la distancia utilizando esta idea de que la visión se obtiene como consecuencia de la reflexión especular porque, por primera vez, se hace un uso de la matemática en una teoría introemisionista.

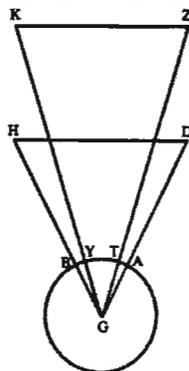


Figura 13



Un objeto situado en HD estampará una imagen en AB, sobre la superficie del ojo; si el mismo objeto se traslada a KZ la imagen en el ojo se restringirá al arco TY, menor que AB: (...) *Y todo lo que se forma sobre un arco menor se ve también menor; por tanto la imagen del objeto colocado en KZ es menor. Más adelante escribirá: Es extraño que la gente que defiende la teoría de los rayos (que emanan del ojo) hablen también del ángulo (formado en el ojo por el objeto visible); porque este ángulo sólo resulta útil cuando la imagen viene hacia el ojo pero no cuando la vista avanza hacia el objeto.* Avicena sostiene, pues, que solo la teoría introemisionista de Aristóteles es consistente con el tratamiento geométrico del proceso de visión robándole al extraemisionismo su arma más poderosa y atractiva.

LA ÓPTICA DE ALHAZEN

Alhazen somete nuevamente a crítica las teorías extraemisionistas añadiendo, a los argumentos hasta entonces esgrimidos, otros nuevos que recoge en su obra maestra de óptica **Kitab al-Manazir** (*De aspectibus*).

Así, en primer lugar, señala: *Encontramos que cuando el ojo se fija en una luz extremadamente brillante, sufre a causa de ello y es dañado; así, cuando alguien mira al sol no puede verlo con claridad porque sus ojos experimentan dolor a causa de su luz. Esto mismo ocurre cuando mira, desde la posición en que la luz es reflejada, un espejo pulimentado sobre el que incide la luz del sol. Sus ojos se verán nuevamente dañados por la luz que los alcanza y no será capaz de mantenerlos abiertos.* Las heridas se producen por medio de agentes externos y, por ello, el proceso de visión es producto de una acción exterior. El proceso de la visión posterior o retardada también avala, a su juicio, esta posición introemisionista.

Alhazen es cauto, sin embargo, y, consciente de la capacidad adaptativa de las teorías físicas, afirma solamente que *es una propiedad de la luz el actuar sobre el ojo y está en la naturaleza del ojo en ser afectado por aquélla.*

En segundo lugar Alhazen, totalmente convencido de que la percepción visual tiene lugar en el ojo y la mente del observador y no en el lugar en que los rayos contactan con el objeto (...) *el ojo no percibe la luz y el color a menos que algo llegue al ojo desde el objeto iluminado y coloreado (...), se dedicará a mostrar que los rayos visuales resultan superfluos y así escribirá: (...)* (los matemáticos que postulan la existencia de rayos visuales) *solo usan en sus demostraciones líneas imaginarias a las que llaman líneas radiales... y la creencia de los que consideran a estos rayos como simples líneas imaginarias es correcta, pero no lo*



es la de aquellos otros que suponen que algo real es emitido desde el ojo. Los rayos pueden, pues, utilizarse matemáticamente pero no poseen realidad física alguna.

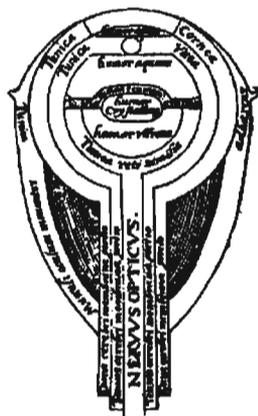


Figura 14

Alhazen acepta la descripción galénica del aparato óptico y admite que es en el cristalino donde se produce la “fijación” de las formas y los colores provenientes de los objetos: (...) (cuando la forma de la luz) *alcanza la superficie del humor cristalino, actúa sobre él, y éste sufre a causa de la forma, porque es una propiedad de la luz el actuar sobre el ojo y una propiedad de éste el sufrir a causa de aquélla. Y este efecto, que la luz produce en el cristalino, lo atraviesa (...) y lo percibe a través del ordenamiento de las partes de la forma en la superficie y en todo el cuerpo del cristalino (...)*. Será este ordenamiento de la forma en la superficie y en el volumen del cristalino el problema que Alhazen tendrá que resolver para que su teoría introemisionista sea aceptada.

Recordemos que, después de las críticas a las que habían sido sometidas las teorías extra e introemisionistas, parecía complicado construir un nuevo esquema que fuera capaz de dar respuesta a las diferentes objeciones. Alhazen llevará a cabo esa labor y desarrollará una teoría que integra en un cuerpo único los aspectos positivos que presentan las tres corrientes de pensamiento cuya historia hemos intentado trazar.

¿QUÉ RASGOS NUEVOS TIENE SU TEORÍA?

La primera diferencia sustancial en relación a las teorías introemisionistas que le precedieron hay que buscarla en que en su caso la emisión desde el objeto es puntiforme: cada punto del objeto iluminado y coloreado radia en todas direcciones: (...) *desde cada punto de todo objeto coloreado, iluminado por cualquier luz, mana luz y color a lo largo de cualquier línea recta que pueda trazarse desde*



dicho punto. La impresión visual coherente que percibimos debe pues reconstruirse a partir de la emisión desde multitud de fuentes de radiación incoherente¹.

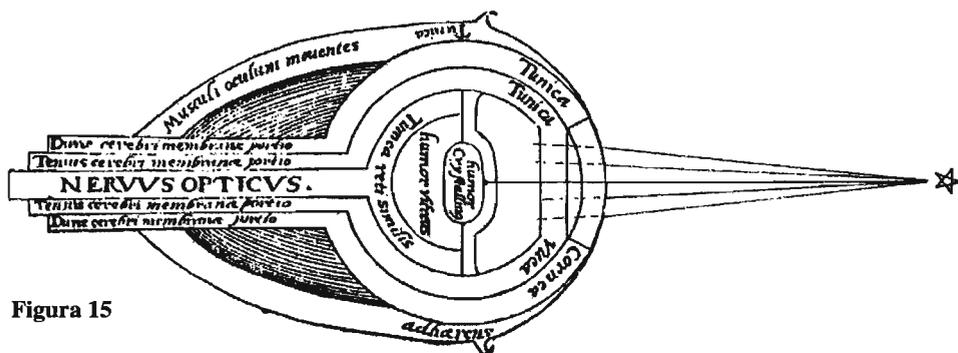


Figura 15

Las dificultades de esta reconstrucción aparecen de modo inmediato porque a cada punto del ojo llega luz y color procedente de cada punto del objeto, ¿cómo es que no se produce una confusión y mezcla de luces y de colores?, ¿cómo es que se percibe una imagen que reconstruye la forma y el color del objeto observado?, ¿cómo es posible que pueda establecerse una correspondencia biunívoca entre los puntos de un objeto enorme con los de una imagen de tamaño muy inferior?

El problema de la reconstrucción tiene, pues, una dimensión física producida de la sobreabundancia de rayos que llegan a la superficie exterior del ojo y una dimensión matemática que tiene que ver con la medida de los conjuntos infinitos. En efecto, una reconstrucción que reproduzca la forma y color del objeto emisor exige que cada punto de la superficie del cristalino reciba un solo rayo procedente de aquél, es decir, hay que establecer una correspondencia biunívoca entre los puntos del campo visual y los puntos del cristalino. Expresado de un modo sencillo diríamos que en el trayecto desde la superficie del ojo a la superficie del cristalino –en el que se produce la detección si consideramos que la recomposición debe ser “idéntica y no invertida”– deben “perderse” (o atenuarse) todos los rayos excepto uno.

Alhazen hará uso de un fenómeno que ya había sido estudiado por Ptolomeo y que hasta ahora no había sido utilizado en ninguna de las teorías ópticas: la refracción.

¹ Parece claro que una de las dificultades máximas para desarrollar una teoría coherente del proceso de visión es el que concierne al modo en que se forma la imagen en el ojo o en la mente. De ahí que la mayor parte de las teorías hayan concebido el proceso mediante una aprehensión completa bien por medio de la emisión de simulacros desde el objeto o bien mediante una especie de palpación por medio de los rayos visuales. A Alhazen se debe el mérito de acabar con este esquema porque mediante su teoría la reconstrucción de la imagen del objeto se hace a través de una integración a partir de puntos.



A pesar de que no había sido posible obtener las leyes cuantitativas de este fenómeno sí era conocido el comportamiento cualitativo de los rayos refractados que, como sabemos, se desvían de la línea de incidencia acercándose o alejándose de la normal según se pase desde un medio menos denso a otro más denso o viceversa. Sólo los rayos que inciden perpendicularmente a la superficie de separación pasan sin desviación alguna; serán precisamente éstos los que jueguen un papel fundamental en la teoría óptica de Alhazen quien en su obra ya citada *De aspectibus* escribirá: *A través de cada punto de la superficie del ojo pasan simultáneamente las formas de todos los puntos del campo visual, pero sólo la forma de un único punto incide perpendicularmente y pasa directamente (sin refractarse) a través de la transparencia de las tunicas y humores oculares, ese punto (del campo visual) está localizado en el extremo de la perpendicular trazada desde el punto de la superficie del ojo que estamos considerando. El resto de las formas de otros puntos del campo visual son refractados en el punto de la superficie del ojo considerado y atraviesan la transparencia de las tunicas y humores oblicuamente.* Cada punto de la córnea recibe, pues, un único rayo perpendicular que pasa al cristalino sin refractarse, el conjunto de todos estos rayos constituye un cono con el campo visual como base y el centro del ojo como vértice (¡el cono visual de la teoría matemática encuentra aquí su homólogo!). Una teoría introemisionista consigue, por primera vez, incorporar a su estructura la potencia que comporta el uso de las matemáticas.

Alhazen dedicará parte de su tratado a buscar argumentos (que desde nuestra perspectiva actual no son excesivamente convincentes) que justifiquen la eliminación de los rayos refractados intentando convencer al lector de su escasa capacidad de “dejar huella”. Por otra parte también mostrará con su invención de la *cámara oscura* que los numerosos rayos que penetran a través de la pupila en su paso hacia el cristalino no se perturban entre sí y se propagan independientemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aristóteles *Acerca del Alma* Ed. Gredos
Cohen Morris and Drabkin I.E. *A Source Book in Greek Science* Harvard University Press
Lindberg David C. *Theories of Vision*. Chicago Press
Park David. *The fire within the eye* Princeton University Press
Platón *Timeo* Ed. Gredos
Sambursky S. *El mundo físico de los griegos* Alianza
El mundo físico a finales de la Antigüedad Alianza
Smith A. Mark *Ptolemy's Theory of Visual Perception (Optics)* Transactions of the American Philosophical Society
Zajonc Arthur *Catching the Light* Oxford University Press