



UNIVERSIDAD DE SEVILLA FACULTAD DE FARMACIA



MOMENTOS ESTELARES DE LA HISTORIA DE LA ÓPTICA DESDE LA ANTIGÜEDAD A LA EDAD MEDIA

Iruzubieta Álvarez, Rosa



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
FACULTAD DE FARMACIA
GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FIN DE GRADO
BIBLIOGRÁFICO

MOMENTOS ESTELARES DE LA HISTORIA DE LA ÓPTICA DESDE LA
ANTIGÜEDAD A LA EDAD MEDIA

DEPARTAMENTO DE FARMACIA Y TECNOLOGÍA FARMACÉUTICA

TUTOR: ANTONIO RAMOS CARRILLO

COTUTOR: ESTEBAN MORENO TORAL

Sevilla, julio de 2021

Iruzubieta Álvarez, Rosa

RESUMEN

En esta memoria estudiamos varios temas relacionados con la historia antigua y medieval de la Óptica.

Uno de ellos es el estudio de dos principales teorías ópticas: Teoría de Intromisión y Teoría de Extromisión, ambas desarrolladas durante la época griega. Los autores posteriores se decantan por una de estas dos teorías quedando la otra excluida.

Además de estas dos leyes, se desarrolla el descubrimiento del vidrio, material que se va a emplear para la creación de lentes hasta la posterior invención de los anteojos a finales de la Edad Media. Seguidamente las aportaciones de diversos autores que publicaron importantes obras en los que mencionan cuestiones relativas a fenómenos de la física como las perspectivas o la propagación de la luz; anatomía del globo ocular; enfermedades tanto generales como oculares; remedios para esas enfermedades; y la extracción del cristalino en la cirugía de la catarata.

Finalmente, reflejamos iconografía sobre las gafas y lentes, tanto en retratos medievales en los que se observa el uso de los anteojos en la Edad Media e incluso como en el cine de historia en los que también se menciona este gran descubrimiento.

Palabras claves: óptica, lentes, Edad Media, Antigüedad, espejos, anteojos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. METODOLOGÍA.....	2
4. ANTIGÜEDAD.....	4
4.1 EGIPTO.....	4
4.2 GRECIA.....	5
4.3 ALEJANDRÍA	16
4.4 ROMA	19
5. EDAD MEDIA	22
5.1 ÉPOCA ÁRABE.....	22
5.2 MEDICINA MEDIEVAL.....	29
6. LA ÓPTICA EN EL ÁMBITO DEL ARTE Y EL CINE	31
7. CONCLUSIONES	35
8. BIBLIOGRAFÍA.....	36

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la óptica a través de la historia nos trae consigo la creación de dos teorías principales: la Teoría de Intromisión y la Teoría de Extromisión. Ambas teorías nacerán de las mismas bases, los estudios egipcios y mesopotámicos, pero serán desarrolladas por primera vez por dos autores diferentes de la misma época como teorías contrarias. A lo largo de la Antigüedad y Edad Media, dichas teorías se seguirán desarrollando hasta llegar al punto de que una de ellas desaparecerá frente a la segunda. Esta evolución y posterior selección de una de ellas será la base por la que evolucione la óptica en las siguientes épocas periodos de la historia.

La comparación de estas dos teorías tras su estudio completo nos llevara a entender las motivaciones de dicha selección entre la teoría de la intromisión y la teoría de la extromisión.

Estas dos leyes tienen en común que admiten algún contacto entre objeto y observador, ya sea por partículas o rayos que llegan al observador.

Los defensores de la Teoría de Intromisión son los atomistas, que para ellos del objeto visible salían unos átomos que se desplazaban en todas direcciones y algunos llegaban al globo ocular; y Aristóteles, quien decía que el contacto entre el objeto y el globo ocular era a través del medio (Aire). Esta teoría perduró por mucho tiempo y uno de los que la siguió fue Galeno (Aivar y Travieso., 2009).

La otra teoría, la Teoría de la Extromisión, la defendió Empédocles, los pitagóricos y Platón, en la que sugieren que la irradiación que proviene del objeto y del ojo se combinan, suponiendo que en el interior del globo ocular existía fuego. Euclides siguiendo un poco esta idea, obtiene su proceso de la visión a partir de los rayos que salen del observador en forma de cono (Aivar y Travieso., 2009).

El fundamento de la óptica se concentraba en la naturaleza y propagación de la luz, y la percepción visual, además de la filosofía natural. El proceso de la visión comprende la anatomía, fisiología del sistema visual, principios matemáticos, perspectiva de la percepción visual y la física. A todas estas materias se dedicaron los autores que posteriormente mencionamos.

Además del estudio de la visión, también aparece los descubrimientos de los espejos y los anteojos, cuyo origen datan en el antiguo Egipto y la antigua Mesopotamia como por ejemplo la lente de Nimrud (700 a.C.) fabricada en Asiria (Raffino., 2020).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es conocer la evolución de la óptica en la historia antigua y medieval y analizar tanto la metodología como antecedentes para dichas evoluciones.

Los objetivos secundarios que se van a plantear son los siguientes:

- Situación histórica y social de las diferentes evoluciones.
- Conceptos y métodos en los que se basan los autores.
- Resultados de dichas investigaciones.

Analizando los objetivos secundarios relacionados con cada autor y obteniendo una visión principal de las diferentes evoluciones de la óptica en la historia, realizamos una comparación de los autores y de sus logros.

3. METODOLOGÍA

El estudio de este trabajo es de tipo bibliográfico. La búsqueda se ha centrado en la historia de la óptica desde la antigüedad hasta la Edad media con un tiempo dedicado aproximadamente de cinco meses, desde febrero hasta junio de 2021.

Se comenzó con la búsqueda de los autores de la Antigüedad, con el fin de ir investigando los descubrimientos que realizaron cada uno. Para ello, se utilizaron bases de datos como “Google Academic”, “Dialnet plus” y “Scielo”. Además de estas fuentes de investigación, también se han utilizado libros y revistas académicas citados posteriormente en la bibliografía.

Para la búsqueda de la Edad Media, aparte de las fuentes referidas anteriormente, se ha buscado en el ámbito del arte y el cine para así averiguar un poco más en qué momento se utilizaban los anteojos y otros fenómenos e instrumentos ópticos.

Para seleccionar los artículos se ha incluido en la búsqueda temas relacionados con la física, historia y filosofía y en un intervalo entre 1950-2021. Los artículos excluidos son los que no contenían información relacionada con el tema.

La investigación de esta información va a ser válida para llevar a cabo los objetivos del trabajo: Momentos estelares de la historia de la óptica desde la Antigüedad a la Edad Media.

4. ANTIGÜEDAD

4.1 EGIPTO

La historia de Egipto nace en torno al año cuatro mil a.C. siendo su máximo esplendor alrededor del año 2.500 a.C. Tanto Egipto como Mesopotamia siguieron creciendo hasta la conquista de Macedonia. Los principales descubrimientos en esta época fueron la Matemática, la Astronomía y la Medicina (Ruiz., 2003).

La Medicina en el antiguo Egipto recoge distintos aspectos como la Religión y la Arqueología. Destacamos algunas obras de autores como la de Wilkinson que establece la existencia de enfermedades relacionadas con la Oftalmología y Heródoto que menciona tipos de especialidades médicas como por ejemplo la de los ojos, cabeza, dientes, etc... Existen más de 200 tipos de enfermedades, siendo las más conocidas las heridas y fracturas. Todas estas enfermedades se recogen en distintos papiros médicos en el antiguo Egipto (Gil., 2012):

- Papiro Ebers: Recopilación farmacología y fisiología. Explica enfermedades y remedios a partir de métodos religiosos-mágicos. Se describen algunas patologías oculares como la conjuntivitis crónica, el orzuelo o el leucoma corneal.
- Papiro Hearst: Contiene 270 recetas.
- Papiro Médico de Berlín: Se conservan 240 recetas de enfermedades.
- Papiro de Kahun: Aparece en el reinado de Amenemhat (1850 a.C.) y se recoge 34 preinscripciones.
- Papiro Médico de Londres: Aparece durante la época de Tutankamón. En él se aprecia distintos métodos mágicos para aliviar algunas enfermedades.
- Papiro Chester-Beatty: Contiene 45 recetas y encantamientos para la migraña.
- Papiro III y IV de Rameseum: Recoge diferentes enfermedades ginecológicas.
- Papiro Smith: Se presentan diferentes clases de curas como por ejemplo heridas, operaciones, eliminación de pequeños tumores. Este último papiro es el más completo de todos (Gil., 2012).

Uno de los más importante en la Medicina fue Imhotep, fundador de la Medicina en Egipto, el primer arquitecto y sacerdote. Se le conoce por el descubrimiento de

métodos curativos del tracoma (infección ocular) con compuestos de cobre, a partir de que su mujer contrajera la enfermedad (Ledermann., 2016).

La primera explicación sobre la cirugía de catarata se localiza en la Medicina india en torno al año 600 a.C. por Sushruta, quien explica las distintas clases de cataratas y sus técnicas. Esta técnica tomó gran importancia en la medicina egipcia, ya que se continuó practicando en esta civilización. La catarata se encuentra referenciada en el papiro de Ebers, aunque algunos la definen como *“subida del agua a los ojos”* y otros como *“la presencia de serosidad o secreciones”* (Cotallo., 2007).

Ya en la prehistoria se utilizaba la obsidiana que es una roca volcánica, transparente, brillante, con naturaleza ácida y de varios colores (pardo, gris oscuro y verdosas/rojiza). Junto con otras clases de roca fabricaban utensilios domésticos e instrumentos defensivos. También fueron utilizadas por las civilizaciones precolombinas para construir espejos (Jiménez., 2013).

Según cuenta la historia, los vidrios más antiguos se encuentran en Egipto. Una de las primeras veces que se habló de este material fue por unos marinos que se refugiaron en la orilla del río Belos y al prender el fuego con trozos de conchas rotas se dieron cuenta que reaccionaba con la arena y formaba un material fusible y translucido. Alrededor del año 100 a.C. se descubre que al derretir el vidrio y soplar a través de un tubo lo moldeaban y, así, podía cambiar su forma. Gracias a la existencia del vidrio podía fabricar ojos artificiales y prótesis para las estatuas (Pérez., 2006).

4.2 GRECIA

La Grecia antigua la podemos dividir en dos etapas, una que abarca de 600 – 300 a.C. conocida como la *“clásica”* y la otra va desde 300 a.C. al 600 d.C. que corresponde con la *“alejandrina”*. Además, se empezó con la utilización del hierro. Las Matemáticas fueron muy importantes durante esta época, porque además de contribuir con muchas investigaciones, hay muchas que se les atribuyen a ellos.

Hubo un momento en la historia de Grecia que fue de retroceso y las ciencias se debilitaron cuando Atenas fue derrotada por Esparta. Por lo que dio lugar al inicio de Alejandría (Ruiz., 2003).

La óptica antigua era comprendida como la teoría de la visión. Uno de los primeros en realizar algunas investigaciones sobre esta temática fue Euclides, en la que llegó a la conclusión de que, para medir dos puntos, aparte de medirlo con un metro, también se puede medir a partir del ángulo que forma el observador con respecto a los dos puntos. Aunque el primero en hacer referencia del fenómeno de la visión fue Empédocles. Se determinó la ley de reflexión y se adquirieron algunos resultados sobre la ley de refracción. Aunque existen más autores que hayan demostrado las leyes, sólo se conserva dos tratados acerca de la óptica: el Tratado de Euclides y el Tratado de Ptolomeo sobre los espejos: *“Un rayo de luz que incide en un espejo es reflejado, el ángulo que forma con el plano ortogonal al espejo en el que incide es igual al ángulo que forma con dicho plano el rayo reflejado”* (Bergamino., 2019).

HIPÓCRATES

La medicina griega ha tenido gran influencia en Europa hasta la actualidad. Hipócrates de Cos (Figura 1) fue el médico más influyente de la época y también fue profesor de medicina. Se le conoce como “El Padre de la Medicina Moderna”.

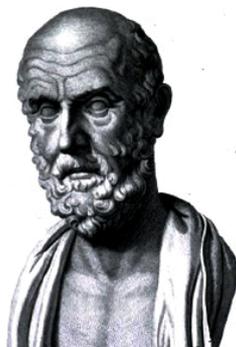


Figura 1 Hipócrates de Cos (Campohermoso et al., 2014).

Desarrolló un sistema para el estudio de enfermedades relacionadas con fenómenos naturales y no con fenómenos mágicos-religiosos o por intervención de dioses (Jiménez., 2013).

ARISTOTELES

Aristóteles (Figura 2) fue uno de los filósofos que más influencia ejerció sobre la cultura occidental, ya que quiso explorar todos los campos tanto de la ciencia como del saber. Aunque su principal estudio era el de los sentidos y sensaciones (Jiménez., 2013).

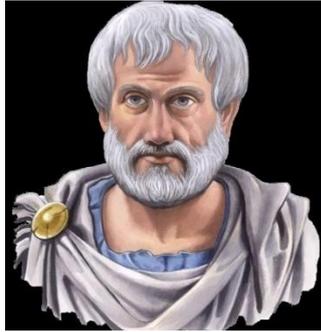


Figura 2 Aristóteles (Pérez., 2018).

Se unió a la “Academia” fundada por Platón y fue discípulo de este durante veinte años. Durante ese tiempo, Aristóteles comienza a desarrollar sus propias ideas contrarias a la teoría de las ideas de Platón. En la teoría de Platón se establece que para que la visión se produzca, es necesario el resultado de una especie de “fuego visual” que desciende del ojo, en la que se forma un cuerpo único y homogéneo. Aristóteles lo discute fácilmente en uno de los temas de sus tratados *Acerca de la sensación y de lo sensible* (Calvo., 1978):

“Si la vista fuera fuego, como dice Empédocles y como está escrito en el Timeo, y si la visión se produjera al salir una luz del ojo como una linterna, ¿por qué la vista no puede ver también en la oscuridad?”

Otra de las teorías anteriores que Aristóteles rebatió fue la de los atomistas, en la que decía que la vista se producía a partir de una capa de átomos finas que salía de la superficie del objeto visible e iba en todas las direcciones, describiéndolo como un fenómeno físico (Aivaz y Travieso., 2009).

Aristóteles explicó con dos razonamientos su contradicción acerca de esta teoría. La primera razón y más sencilla es que si la visión es un fenómeno físico, otros objetos que reciben luz refleja se podrían ver. Por tanto, la visión no puede ser solo algo físico. El otro razonamiento es sobre la reducción de los objetos, en la que diferencia entre objetos sensibles propios y los comunes, y en la que es imposible reducir el objeto sensible propio de la visión a objeto sensible por otro sentido (Barbero., 2013).

La teoría de Aristóteles se centra en el medio y el objeto sensible, que para explicarlo parte de la teoría presocrática de los cuatro elementos de la materia: aire, fuego, agua y tierra; además de las propiedades contrapuestas: caliente vs frío y húmedo vs seco. La transparencia se asocia al medio que principalmente son el agua y el aire, por tanto, en ausencia de medio no habría transparencia y como consecuencia no habría visión; y

el objeto sensible se asocia al color, en el que la luz es solo la realización en acto de transparencia, dependiendo del medio para que se lleve a cabo. Otro tipo de agente que se relaciona con la visión es el órgano sensorial, lo describe igual que Demócrito, donde el ojo está compuesto de agua. No obstante, aunque el aire es más transparente, no sería tan fácil conservarlo, como menciona Aristóteles en su tratado: *Partes de los animales* (Jiménez y Alonso, 2000): “La vista, en todos los animales que la poseen, está lógicamente en torno al cerebro; pues el cerebro es húmedo y frío, y la vista es por naturaleza acuosa: el agua, entre las sustancias transparentes, es la más fácil de conservar.” Por tanto, la cantidad de agua adecuada que se conserve, es decir, la humedad, sería muy importante para mantener la transparencia del ojo (Jiménez., 2013).

Aristóteles hizo referencia a la vista aguda, sobre todo en el tratado *Investigación de los animales* (García., 1992): “ El quebrantahuesos tiene un leucoma en los ojos y su vista no es normal. En cambio, el águila de mar tiene una vista penetrante y obliga a sus pequeños, cuando todavía están implumes, a mirar al sol a la cara, y al que no quiere lo golpea y lo gira hacia el astro; y al primero que le lloran los ojos lo mata, pero al otro lo cría”. Describe al águila con una visión penetrante, por lo que su agudeza visual en lejos es muy buena, ya que, cuando son crías les obligan a realizar tareas en lejos. Esta observación la relaciona con el fenómeno de emetropización, cuando funciona incorrectamente da lugar a ametropías (Barbero., 2013).

Aristóteles menciona la miopía causada por diversos factores y que produce un deterioro de la visión lejana y, como dicho anteriormente, una de las características puede alterar la morfología del ojo puede ser el grado de humedad del ojo y la profundidad de los ojos respecto a la frente. También menciona la presbicia que la define como un cambio de la morfología del ojo por envejecimiento, por lo que la humedad del ojo se va perdiendo. Otra explicación que da es que la presbicia se produce porque la piel que cubre la pupila se arruga y hace que disminuya la visión produciendo sombras (Barbero., 2013).

Aristóteles fue uno de los primeros en hacer referencia de la cámara oscura, lo describe como la formación de una imagen a través de un orificio pequeño. Explica el fenómeno exponiendo que los rayos forman un cono en el que la base es el Sol y el

vértice el orificio y de ese orificio sale rayos en línea recta que también forma un cono hacia el suelo (Moya., 2014).

También junto con Séneca hicieron una mención a las lentes de aumento, en la que explicaban que cuando se veía a través de una bola rellena de agua se podía ver mejor y más grande los objetos pequeños (Pérez., 2006).

EUCLIDES.

Euclides fue un matemático griego, incluido entre los más grandes de la Antigüedad. En Alejandría, abrió su escuela durante el reinado de Ptolomeo I Sóter y así alcanzaría un gran prestigio en su enseñanza por la docencia. En algunas de sus obras habla acerca de la geometría, de ahí, que se le conociera como “El Padre de la Geometría” y que perduró sin modificaciones hasta el siglo XIX (Ruiz y Tamaro., 2004).

En la ciencia griega, tanto la naturaleza de los rayos visuales como el mecanismo de la visión se atribuían a la Filosofía. En cambio, la óptica pertenecía a las matemáticas aplicadas, ya que es el objeto fenómeno relativo a la visión. Por tanto, la idea de que los rayos parten de los ojos era un pensamiento común entre Empédocles, Platón, Galeno y la propia *Óptica euclidiana*; mientras que para Demócrito y los epicúreos su pensamiento era que la luz era un chorro de partículas proyectadas por el objeto y no por el ojo (Ortiz., 2000).

Para Euclides (Figura 3), la idea de que los rayos procedentes tanto de los objetos como del ojo colisionen, le fue válida para su geometría en la que se necesita dos puntos focales. Mientras que los pensamientos de los atomistas, que los objetos emiten luz que llega al ojo, y la teoría de Aristóteles acerca de la naturaleza de la luz no le servían para sus estudios geométricos (Jiménez., 2013).



Figura 3 Estatua de Euclides en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Oxford (Mate turismo., 2012).

Uno de los más importantes de los escritos griegos fue el de Euclides que se produce alrededor del 300 a.C. con el título *Óptica de Euclides*, en el que delante lleva un proemio con argumentos geométricos de otras observaciones. También existe otro texto cercano al de Euclides que se titula *Opticorum recensio* atribuido a Teón. El parecido entre ambos es que coinciden en definiciones y enunciados de la mayoría de los teoremas (Ortiz., 2000).

En la *Óptica de Euclides*, además de exponer 61 proposiciones sobre la Perspectiva, también enunció sus principios ópticos acerca de la emisión de los rayos a partir del objeto.

“Los principios ópticos de Euclides (Magnus., 1999):

- 1. Las radiaciones visuales salen del ojo con cierta separación entre ellas, por lo que divergen indefinidamente.*
- 2. La forma de la emisión óptica es un cono, con el ápex en el ojo y la base en la periferia del objeto visto.*
- 3. Los objetos que se ven son los que las radiaciones visuales engloban.*
- 4. Los objetos que se ven con gran ángulo parecen más grandes, mientras que los de menor ángulo parecen más pequeños.*
- 5. Los objetos vistos con el mismo ángulo se observan iguales.*
- 6. Los objetos vistos en situación de altas emisiones parecen mayores, mientras que parecen más pequeños si las emisiones son bajas.*
- 7. Si las emisiones-radiaciones se dirigen al lado derecho, el objeto aparece más a la derecha, y lo mismo ocurre para el lado izquierdo.*
- 8. Un objeto visto desde distintos ángulos parece diferente.”*

Euclides en su libro describe que los rayos divergen formando un cono cuya base son los extremos del objeto y el vértice sería el ojo, es por lo que para Euclides los rayos salen del ojo y golpean al objeto (Figura 4). También asegura que el tamaño del objeto va a depender del ángulo formado por los rayos visuales, es decir, cuando el ángulo es grande los objetos van a parecer grandes y, al contrario, cuando sean pequeños los objetos van a ser menores. Además, pueden parecer más grandes mientras más cerca

este del observador y más pequeño a medida que se va alejando (Aldana y Hernández., 2020).

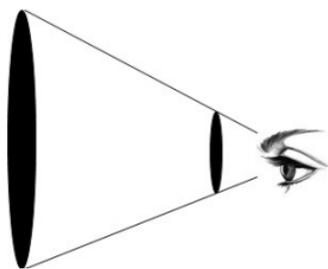


Figura 4 Representación de la luz según Euclides. (Aldana y Hernández., 2020)

Existen otros textos con esta materia con el título de *Catóptrica*, uno escrito por Herón de Alejandría y otro atribuido a Euclides. Este último, define la catóptrica como una parte de la óptica que se ocupa de los reflejos en superficies lisas y del estudio de la refracción de los rayos del sol (Ortiz., 2000).

Actualmente la campimetría computerizada está estrechamente relacionada con la representación de la visión como construcción geométrica y matemática de Euclides (Jiménez., 2013).

PTOLOMEO

Claudio Ptolomeo nació en Egipto sobre el año 85, fue uno de los grandes teóricos de la óptica antigua, aunque es más conocido por su obra de astronomía *Almagesto* y sus tratados de geografía. Su nombre es una mezcla entre griego y romano, ya que, su familia era griega, pero era ciudadano en Roma (Ruiz., 2003).

Su obra más importante fue *Almagesto*. Originalmente estaba escrito en griego con el título *Hè Megalè Syntaxis* (traducción al español “composición matemática”); posteriormente fue traducido en árabe, llamándose Al-Majisti; y su última traducción al latín fue *Almagest*. En esta obra se amplía la teoría de Hiparco de Nicea y se expresa los movimientos del Sol, la Luna y los planetas (Ecured., 2011).

Con respecto a la óptica, siguió la Teoría de Extromisión de Euclides en la que se explica la representación de los ángulos visuales y su relación con los rayos visuales en forma de cono. Además, añadió los conceptos de oblicuidad y distancia que lo diferencia de Euclides, ya que Euclides decía que los rayos no se separan con la distancia y se podía ver el objeto completo. En cambio, Ptolomeo explica que para

observar los objetos los rayos visuales dependen de la inclinación con la que se vea pudiendo cambiar el tamaño o forma del objeto (Aldana y Hernández., 2020).

Elaboró una tabla muy precisa con valores de los ángulos de incidencia y refracción (Tabla 1) en distintos medios (aire y agua) y añadió a sus ideas la corrección de las posiciones de los astros que se encontraban alteradas por la refracción atmosférica (Aldana y Hernández., 2020).

Tabla 1 Valores de ángulo de incidencia y refracción por Ptolomeo (Aldana Boada y Hernández Sepúlveda., 2020).

Ángulo de incidencia (α)	Ángulo de refracción (β)	Diferencias entre α y β
10°	8°	2°
20°	15,5°	4,5°
30°	22,5°	7,5°
40°	29°	11°
50°	35°	15°
60°	40,5°	19,5°
70°	45,5°	24,5°
80°	50°	30°

Ptolomeo llegó a la conclusión de que la ley de refracción relaciona el ángulo de incidencia (α) con el ángulo de refracción (β) cuando un haz de luz cruza una superficie lisa de separación entre dos medios transparente es lineal. Para ello, planteó un experimento en el que utilizó un disco que estaba dividido en 360 partes (Figura 5). La mitad del disco se encuentra sumergido en agua y la otra mitad está en aire. Colocó dos reglas en los extremos y se podían girar. Empezó moviendo la regla superior en diferentes posiciones, pareciendo que estaba recta con la parte de abajo al mirar desde arriba. Al observar que no era recta fue midiendo el ángulo de la regla superior (α) y el ángulo de la inferior (β) en las distintas posiciones, llegando así a la conclusión que el rayo incidente es mayor y proporcional a la refractada. Los valores finalmente no llegaron a ser del todo constantes por lo que no logra descubrir la ley de refracción correcta (Tarásov y Tarásova., 1985).

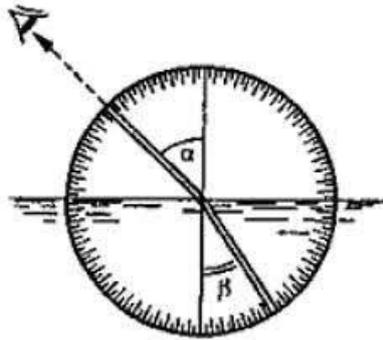


Figura 5 Experimento de Ptolomeo sobre los ángulos de incidencia y refracción (Tarásov y Tarásova., 1985).

Ptolomeo estaba de acuerdo con la teoría del color de Aristóteles y Galeno, en la que define el color como “una propiedad inherente de los objetos que produce una modificación en el cono visual siendo absolutamente necesaria la cooperación de la luz” (Jiménez., 2013).

PITÁGORAS.

Pitágoras nació en Samos (Jonia) y fue conocido como el primer matemático puro. Sus estudios influyeron mucho en Platón (Ruiz., 2003).

Fue el que utilizó por primera vez las palabras «matemáticas», «filósofo» y «metempsicótico» con el significado que tienen actualmente. Sabía cómo predecir los eclipses solares y lunares, aunque el primero en mencionar los eclipses fue su maestro Tales. También, determina la altura de una pirámide a partir de su sombra. De su otro maestro Anaximandro aprendió a determinar la altitud solar (Strathern., 2014).

Los pitagóricos coincidían con Aristóteles en que el alma *«es una armonía puesto que –añaden– la armonía es mezcla y combinación de contrarios y el cuerpo resulta de la combinación de contrarios»*, puesto que para ellos es una propiedad de los números (Mas., 2003).

PLATÓN

Platón nació en Atenas (Grecia) en 427 a.C. fue el principal discípulo de Sócrates quien pensaba que la ciencia, excepto las Matemáticas, era menos importante que la Filosofía moral. Fue maestro de Aristóteles. En Atenas fundó la Academia, en ella se dedicó al estudio de las Ciencias y la Filosofía (Ruiz., 2003).

Platón (Figura 6) hace una combinación con las doctrinas de Pitágoras (sólidos regulares) y Empédocles (elementos) que se aproximan al atomismo. Comparó los elementos con formas geométricas, la tierra con el cubo, el agua con el icosaedro, el fuego con el tetraedro y el aire con el octaedro. Por tanto, los elementos pueden ser contruidos en triángulos (equilátero e isósceles) y pueden transformarse unos en otros. En conclusión, para Demócrito los átomos son una materia eterna e indestructibles que no se pueden transformar, mientras que para platón y los pitagóricos las partículas se pueden transformar en otras (Heisenberg., 1959).

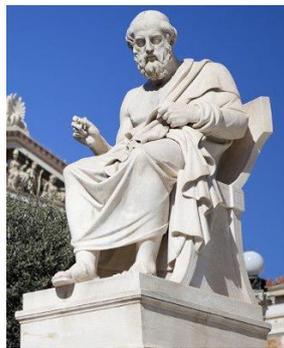


Figura 6 Escultura de Platón en el Jardín de la Academia de Atenas (Narbona., 2020).

Con respecto a la Óptica, Platón al contrario que la Teoría de la Intromisión de Demócrito y Epicuro dice que el ojo produce luz, ya que, está formado por fuego y por tanto los rayos que salen del ojo chocan con el objeto (Teoría de Extromisión). Los colores que vemos de los objetos según platón son producidos por las partículas de las llamas de fuego, entonces, si estas partículas están muy concentradas y son grandes van a producir colores oscuros, mientras que si son más pequeñas producen colores más claros (Delmar., 1993).

En la obra de Platón, *La República*, menciona la visión:

“— Y en cuanto a la facultad de ver y ser visto, ¿no te has dado cuenta de que esta sí que necesita?

—¿Cómo?

—Porque, aunque, habiendo vista en los ojos, quiera su poseedor usar de ella y esté presente el color en las cosas, sabes muy bien que, si no se añade la tercera especie particularmente constituida para este mismo objeto, ni la vista verá nada ni los colores serán visibles

—¿Y qué es eso -dijo- s qué te refieres?

—Aquello -contesté- a lo que tú llamas luz”

Por tanto, para él la visión es el resultado del encuentro entre la emisión del objeto y el cuerpo homogéneo formado por la fusión previa de los rayos oculares y los rayos del

día. Una vez que se fusionan se transmiten al alma y producen la sensación (Jiménez., 2013).

DEMOCRITO

Demócrito nació en la ciudad de Abdera (Tracia) en torno al 460 a.C. Fue un filósofo y matemático griego presocrático y, discípulo de Leucipo, fundador de los atomistas, por lo que perteneció a los atomistas. Desarrolló la “teoría atómica del universo” con ayuda de su maestro Leucipo, en ella estableció que la materia solo tiene una mezcla de átomos y estos son inmutables, pequeños y eternos. También, incorporó el concepto de “átomo” (Astromía., 2016).

Para Demócrito y los atomistas, la sensación es el contacto y la dividen en dos tipos: el primero es el contacto directo entre la persona que percibe y el objeto percibido (por ejemplo, el tacto o el gusto) y el segundo es el contacto desde el objeto entre la persona y los átomos emitidos (por ejemplo, olfato, vista y oído). También las clasifica según sus cualidades: primarias u objetivas (forma, permeabilidad, resistencia) y secundarias o subjetivas (color, olor, sonido). Pero para ellos, las sensaciones son causadas por contacto directo con el órgano sensible (Jiménez., 2013).

Demócrito explica la visión con la Teoría de la Intromisión: para poder ver el objeto, este tenía que entrar en contacto con el ojo, para ello, el objeto empujaba el aire entre ambos, manteniendo su forma y color. Esta teoría es similar a la teoría de Epicuro, aunque para él, los átomos del objeto son los que entran en contacto y lo hacen por la presión del aire. Los objetos envían imágenes (llamadas también *éidola*) pasando por la pupila al ojo. Por tanto, las imágenes se mueven en todas las direcciones y se entrecruzan llegando al ojo de forma continua (Delmar., 2016).

También investigó sobre la anatomía del ojo, en la que explica que el ojo está compuesto de agua llegando hasta el nervio óptico. El nervio óptico lo descubrió Alcmeón de Crotona, filósofo pitagórico. Postuló que todos los colores se producían a partir de los cuatro colores básicos: rojo, verde, blanco y negro (Delmar., 2016).

ARQUIMEDES

Arquímedes fue considerado entre los matemáticos antiguos, uno de los más brillantes de la época. Nació en Siracusa en 287 a.C. y escribió numerosas obras importantes sobre geometría plana y del espacio, aritmética y mecánica. Su educación fue impartida en Alejandría. Para sus teorías, utilizó resultados de Euclides y Aristeo. En el campo de las matemáticas puras, con el método de Exhaustión demostró estudios de áreas de figuras planas y volúmenes de figuras curvadas, es decir, este método es una comparación entre figuras rectilíneas y curvilíneas (Ruiz., 2003).

Por último, se le atribuye la creación de espejos ustorios que son espejos con forma de paraboloides. Los rayos que llegan a una parábola reflectante en una dirección de su eje de simetría son reflejados en el mismo punto. Por tanto, los rayos del Sol cuando golpean en su foco van a generar tal temperatura que es capaz de quemar un objeto y es por lo que al espejo se le llama ustorio, obteniendo así un reflector capaz de reflejar los rayos del sol de día y de las hogueras durante la noche. Arquímedes utilizó los espejos ustorios para defender a Siracusa de los ataques de Marcelo, incendiando las naves romanas (Bergamino., 2019).

4.3 ALEJANDRÍA

La época alejandrina comienza con la conquista de Alejandro Magno de Grecia, en torno al año 336 a.C. y termina cuando Egipto pasa a ser parte de los romanos en el año 30 a.C. Comienza la etapa "Helenística" de la cultura griega, que es una combinación de lo egipcio y lo oriental. Las principales disciplinas más brillantes en Alejandría fueron la Medicina, la Matemática, la Astronomía y la Física (Campohermoso y Soliz., 2009).

Una de las diferencias importantes es que las Matemáticas helenísticas incorporan Mecánica, Astronomía, Óptica y Logística (Ruiz., 2003).

HERÓFILO

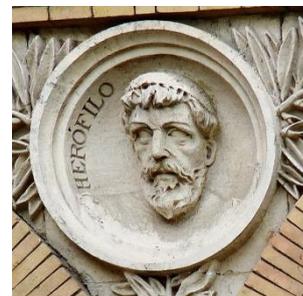
Herófilo de Calcedonia nació en 340 a.C. en Turquía. Estudió Medicina en la escuela de Praxágoras de Cos con Erasítrato. Se trasladó a Alejandría donde fundó la Escuela Médica que enseñaba y practicaba la Anatomía y Medicina. Él junto a algunos de sus discípulos fueron los primeros en realizar la disección humana hipocrática. Para

Herófilo existían cuatro fuerzas que gobiernan la vida: el primero es la alimenticia que reside en el hígado, el segundo es la térmica que habita en el corazón, la tercera es la sensitiva que se encuentra en los nervios y la última es la intelectual que vive en el cerebro (Campohermoso y Soliz., 2009).

Realizó numerosos descubrimientos tanto anatómicos como fisiológicos, destacando en el ámbito Oftalmológico, la exploración de globo ocular y nervio óptico, en la que describió la esclera, el cristalino y la retina. También realizó una distinción entre el cerebro y cerebelo; estudió el encéfalo describiendo meninges y plexos coroideos ventrículos; descubrió el origen de los nervios e hizo una distinción entre nervios sensitivos y motores; observó el pulso arterial y para la medición utilizó un reloj de agua; diferenció entre arterias y venas; describió el duodeno, útero, trompas uterinas y ovarios (Romero., 2018).

Herófilo (Figura 7) escribió un libro de tratados de anatomía y las causas de la muerte con diversos volúmenes, pero desafortunadamente desaparecieron en la destrucción de la biblioteca de Alejandría (Romero., 2018).

Figura 7 Medallón representando a Herófilo en la Antigua Facultad de Medicina de Zaragoza (Ecelan., 2011).



HERÓN

De Herón de Alejandría, también conocido como Hero, físico y matemático, se desconoce la fecha exacta en la que vivió. Hay varias hipótesis en la que se dice que vivió anterior a Pappus, ya que lo menciona él en algunos de sus trabajos, y posterior a Ptolomeo. Fue maestro en el museo de Alejandría. Lo más llamativo es la combinación matemática con aproximación de fórmulas egipcias. Asimismo, ocupó su tiempo en la Geometría y en la Mecánica (Asensi., 2013).

Inventó la turbina de vapor y relojes de agua (Ruiz., 2003).

La mayor parte de sus obras están dedicadas a la física aplicada y a la geometría práctica, entre ellas podemos destacar (Asensi., 2013):

- *La Dioptría*, a partir de la diferenciación entre la hora observada de un eclipse lunar podía calcular la distancia entre Alejandría y Roma.
- *Catóptrica*, estudio de los espejos. Heron demostró que la luz siempre continua por el camino más rápido.
- *La Métrica*, es su obra más importante que se encuentra dividida en tres libros. En ellos se recogen cálculos de áreas y volúmenes.
- *La Mecánica*, se divide en tres libros dedicados para arquitectos.
- *Belopoeica*, describe la construcción de la máquina de guerra.
- *La Neumática*, en ella se estudia la presión del aire, vapor o agua.

FARO DE ALEJANDRÍA

El faro de Alejandría fue construido en el siglo III a.C. en una pequeña isla de Alejandría, conocida como una de las siete maravillas del mundo (Figura 8) y se le atribuye el nombre de “El Pharos”, ya que, su construcción fue durante el reinado de Ptolomeo II Filadelfo. Estaban compuestos de distintos dispositivos cuya finalidad era avistar los barcos a distancias que no se podía ver, aunque también servía para el paso de las horas y los astros debido a que era un observatorio astronómico. Se destruyó en 1302 debido a un terremoto (Rabía., 2008).



Figura 8 Faro de Alejandría (Alba., 2020).

La torre se encontraba en el principio del puerto, su descripción la realizó Ahmed el Absihi, en la que dice que en lo alto se encontraba un espejo de acero para así reflejar los barcos a la altura de la isla. También podía avistar enemigos que los dejaba

acercarse hasta que el sol pasaba el meridiano y con los rayos reflejado en el espejo, los incendiaba (Rabía., 2008).

Este funcionamiento duró hasta Issac Newton, quien intentó reproducir el mecanismo con un cilindro que por un lado estaba tapado y por el otro se observaba los objetos lejanos, que más tarde se transformaría en el primer telescopio (Rabía., 2008).

4.4 ROMA

El imperio romano en torno al año 31 a.C. ya se había adueñado tanto de Grecia (150 a.C.) como de Mesopotamia (64 a.C.) y Egipto. El imperio, por orden del emperador Teodosio se fragmentó en dos: por un lado, la occidental que fue después conquistada en el siglo V d.C. por los pueblos germánicos (pueblo godo) y por el otro, la oriental que fue conquistada por los turcos en el año 1453. Algunas de las obras más importantes de la época fueron desarrolladas por Plinio el Viejo que hizo una recopilación de fenómenos naturales "*Historia Natural*", y por Galeno de Pérgamo, cuya investigación sobre la Anatomía, Medicina y Fisiología causó gran importancia en Europa hasta el siglo XVII (Ruiz., 2003).

En Roma se mejoró la fabricación de los espejos, cambiaron el material de la superficie, pasaron de mercurio a plata, ya que era más brillante y reflectante. Los romanos crearon nuevos modelos y consiguieron hacerlos de mayor tamaño, aunque era deficiente debido a que al ser más grande se distorsionaba un poco. También utilizaron superficies espejadas para las paredes o suelos (López., 2019).

PLINIO

Cayus Plinius Secundus, conocido como Plinio "el Viejo" nació en Como, una colonia romana en el año 23 a.C. Ha realizado numerosas profesiones como militar, escritor, filósofo, político, y naturalista en el imperio romano. En su obra *Naturalis Historiae* están recogidos 37 libros con gran variedad de temas como Anatomía, Terapias (general y oftálmica), Fisiología y Enfermedades. Plinio argumenta que el ojo no está solamente conectado al cerebro, también al estómago ya que según estudios realizado en esa época el vómito es producido al golpear el ojo (Jiménez., 2013).

Anteriormente, en los escritos de Hipócrates ya se había nombrado los “colirios” que era un utensilio delgado con forma cilíndrica terminado en punta compuesto de diferentes fármacos que se aplicaba directamente, en polvo o disuelto (Jiménez., 2013). En la obra menciona la “*Anagallis*” que es un tipo de planta que utilizaban para dilatar la pupila en las operaciones de catarata, aunque no hay ensayos que demuestren que la planta lleva principios activos que producen una midriasis (Cotallo., 2007).

GALENO

Galeno de Pérgamo (Figura 9) nació en el año 129 d.C. en Asia Menor, cuyos padres eran griegos. Amplió sus estudios en Esmirna, Alejandría y Corinto hasta que se convirtió en el médico más importante de la época. Llegó a ser el médico de grandes figuras como Marco Aurelio o Septimio Severo (Campohermoso et al., 2016).



Figura 9 Galeno de Pérgamo (Campohermoso., 2016).

Su pensamiento filosófico combinaba la filosofía realista y naturalista de Aristóteles e idealista de Platón. Según las ideas de Aristóteles, Galeno pensaba que el cuerpo humano era único, perfecto e inigualable. Por la otra parte, como Platón, él planteaba que el organismo está compuesto de tres órganos principales: el primero el Hígado, “alma concupiscible”, se encargaba de distribuir la sangre por las venas; el segundo el Corazón, “alma irascible”, se ocupaba de distribuir la sangre por las arterias; y el tercero el Cerebro, “alma racional”, que va por los nervios (Campohermoso et al., 2016).

Las investigaciones de la Anatomía los realiza a través de las disecciones de animales. Descubre algunos de los pares craneales: el nervio olfatorio, nervio óptico (I par craneal), nervio óculo-muscular (II par craneal), nervio blando (III par craneal – ramo

sensitivo del trigémino), nervio motor (IV par craneal – ramo motor del trigémino), nervios facial y estatoacústico (V par craneal), nervios vago, glossofaríngeo y espinal (VI par craneal) y nervio hipogloso (VII par craneal) (Campherhermoso et al., 2016).

En la descripción que realizó Galeno del globo ocular (Figura 10), la divide en siete capas y tres humores. Por un lado, los tres humores son: humor albugíneo (anterior), humor cristalino (central) y humor vítreo (posterior). Por otro lado, las siete capas las divide en (Jiménez., 2013):

– Capas anteriores:

Túnica conjuntiva: la más externa y se localiza en la aponeurosis de la musculatura ocular.

Túnica córnea: su origen deriva de la esclera y se presenta como unos cuernos.

Túnica úvea: presenta una perforación central que proviene de la túnica secundina (pupila).

Túnica aránea: deriva de la retina, forma una red muy brillante y cubre el humor cristalino.

– Capas posteriores:

Túnica dura o esclera: la más externas de las tres y su origen es de una de las cubiertas del nervio óptico que es la cubierta dura.

Túnica secundina: capa que cubre la retina y proviene de la cubierta blanda del nervio óptico.

Túnica retina: deriva del nervio óptico. Cubre el humor vítreo hasta llegar al cristalino que es el lugar donde se juntan los humores vítreo y albugíneo (iris).

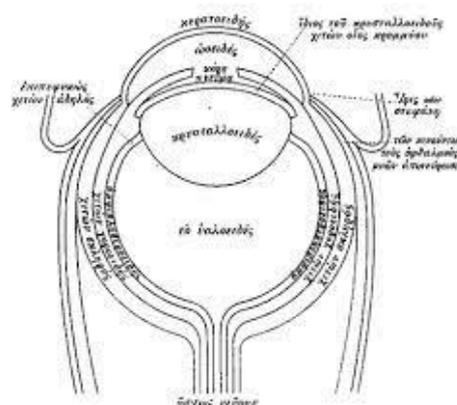


Figura 10 Esquema del globo ocular de Galeno (Campherhermoso et al., 2016)

5. EDAD MEDIA

5.1 EPOCA ÁRABE

AVICENA

Abu Alí Al-Hussein Ibn Abdullah Ibn Sina, traducido al latín como Avicena (Figura 11), nació en Afshana en el año 980, uno de los pensadores muy importante en la Medicina árabe conocido como “Príncipe de los médicos”. Desde joven estuvo aprendiendo y realizando estudios de Gramática, Geometría, Poesía, Mística, Música, Religión, Filosofía, Derecho y Medicina. Prodigioso sabio, estudioso y enciclopedias explicó algunos tratados filosóficos griegos como el de Platón y Sócrates, otros como los de la antigua Grecia de Heráclito, Tales de Mileto, Euclides (padre de la geometría) y Claudio Ptolomeo. Para Avicena: *“La Medicina es una teoría y una práctica, donde ambas están en perfecto equilibrio”* (Pérez et al., 2018).



Figura 11 Abu Alí Al-Hussein Ibn Abdullah Ibn Sina - Avicena (Pérez et al., 2018).

Entre su multitud de libros, su obra más importante fue *“El Canon”*, escrita en el año 1012 y reconocida como dogma tanto en Occidente como en Oriente pasado el siglo XVII. Esta obra está recogida en cinco libros (Pérez et al., 2018).

Dentro del estudio de la Anatomía, Avicena describe los músculos extraoculares y el anillo tendinoso de Zinn. Su idea de la visión es parecida a la de Aristóteles, debatiendo la Teoría de la Extromisión con dos fundamentos: uno que no era posible que el ojo emitiera rayos constantemente y la segunda es que es difícil llegar a ver las estrellas sin tener una trayectoria que lo impida. También como Alhazen creía que el órgano principal era el cristalino y esta hipótesis duró hasta Kepler (Jiménez., 2013).

AVERROES

Abu-l-Walid Muhammad Ibn Ahmad Ibn Muhammad Ibn Rush conocido por Averroes, nació en Córdoba en 1126. Era conocido como el más sabio de Al-Ándalus de su tiempo, filósofo, maestro y médico (Baza., 2021). Comentador de las obras de Aristóteles, aunque amplió algunos conceptos como la Medicina: “*La Medicina es un arte práctico, fundada en principios verdaderos, que pretende la conservación de la salud o la curación de la enfermedad*” (Rodríguez., 1962), o como declarar que en el cerebro también se localizaba facultades intelectuales. Además, es el primero en desarrollar el funcionamiento de la retina. Averroes murió en el año 1198 en Marrakech (Said-Farah., 2008).

Su obra más importante es *Libro de las generalidades de la Medicina* (Kitab al-kulliyat fi al-tibb), manuscrito de iniciación de la Medicina. Está compuesta de siete volúmenes (Girón., 2019).

MAIMÓNIDES

Maimónides (Ibn Maymun) nació en 1135 en Córdoba, era médico, filósofo, teólogo judío y rabino en la Edad Media. Su obra más conocida es *Aforismos médicos* (1187-1190), es una recopilación de 1500 proverbios extraídos de los documentos de Galeno (Baza., 2021, Samsó., 2011).

AL-GAFIQI

El oculista Muhammad Ibn Qassum Ibn Aslam Al-Gafequi (Figura 12) vivió durante la mitad del siglo XII, nació en Belalcázar (Córdoba), lugar donde ejercía como médico. Se le tiene en cuenta como un referente de los entendimientos de la Oftalmología de su época. Su nombre procede del lugar de nacimiento y además tiene una pequeña similitud con el término “gafa”, aunque no existe una hipótesis de quién inventó ese instrumento, solamente lo relacionan con Roger Bacon. Murió alrededor del año 1165 (Chaucer., 1997).



Figura 12 Busto de Al-Gafiqi en Córdoba (Narmer., 2014).

Su obra más importante es *Guía del oculista* (Kitab al-murshid fi-l-kuhl) (Figura 13), donde se conserva un manuscrito en El Escorial. Está dividido en seis libros: anatomía de la cabeza y ojo; higiene del ojo y medicamentos; enfermedades y tratamientos del ojo; patologías oculares en niños; patologías oculares según la parte afectada del ojo; análisis de colirios (García., 2012).

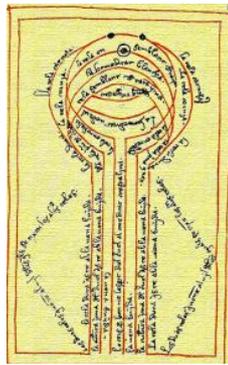


Figura 13 Esquema de globo ocular según Al-Gafiqi (Cotallo., 2007)

Dentro de las patologías oculares, dedica gran parte del libro al tracoma y catarata. Con respecto a la segunda cita: *“La catarata es un humor que solidifica en la superficie del iris y que forma un tabique entre el cristalino y el acceso a la luz exterior”*. También describe tanto la operación como post-operación de la catarata, en la que utiliza para curación un vendaje con yema de huevo y aceite de rosas. Los instrumentos quirúrgicos (Figura 14) que utilizaba para la operación de catarata eran de cobre, debían terminar en punta y ser de largos como el pulgar (Cotallo., 2007).



Figura 14 Instrumento quirúrgico para operación de cataratas (Cotallo., 2007).

ABULCASIS

Abulcasis (Abu-I-Qasim Al-Zahrawi) nació en 936 en Medina Azahara (Córdoba), fue médico, profesor, científico y conocido como el padre de la cirugía moderna. Todas sus obras fueron traducidas al latín y hebreo, la más famosa es *“El libro de la práctica médica”* (*“Kitab Al-Tasrif”*) en la que se recoge 30 volúmenes que tratan diversos temas médicos (ojos, dientes, hernias, partos, luxaciones y fracturas) y descripciones

de instrumentos quirúrgicos (Figura 15), la mayoría creados por él. En el libro 12 habla de cómo realizar la operación de catarata. Abulcasis murió en 1013 (Cotallo., 2007, Baza Álvarez., 2021)

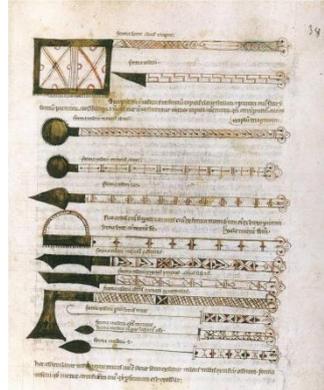


Figura 15 Instrumentos quirúrgicos creados por Abulcasis (González., 2018).

ALHAZEN

Abu Ali Hasan Ibn Al-Haitham, traducido al latín como Alhazen (Figura 16), nació en Basora (Irak) en el año 965, considerado el Padre de la Óptica Moderna (Jiménez., 2013). Debido a que no le agradaba la religión, decidió concentrarse en el estudio de la ciencia de grandes maestros como Euclides, Galeno, Aristóteles y Ptolomeo en las que se puede destacar diferentes materias como por ejemplo las Matemáticas, Filosofía, Medicina, Astronomía, Física y Óptica, aunque esta última la inició en su segunda etapa de vida entorno a los 63 años y por la que más le reconocieron (Rueda., 1993, Calvo., 2015 and Davidson., 2009).



Figura 16 Retrato de Alhazen (Calvo., 2015).

Entre los libros de Alhazen se puede destacar el Libro de Óptica, reconocido como la obra científica árabe de óptica más importante y que ha tenido más influencia en científicos europeos (Rueda., 1993). Alhazen murió en el año 1041 en El Cairo con 76 años (Davidson., 2009).

Los estudios de Alhazen recogen diversos aspectos como la anatomía del ojo (Figura 17) y formación de la visión a partir de muchas ideas de otros autores y teorías de fenómenos físicos tales como la naturaleza de la luz, eclipses, sombras y arcoíris. Sus escritos señalaron grandes influencias en Kepler y Leonardo da Vinci.

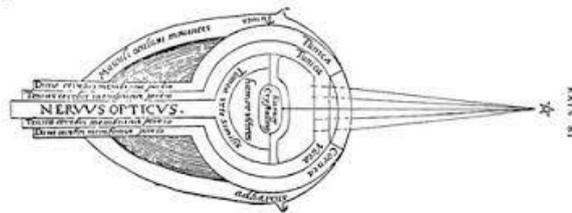


Figura 17 Esquema de la anatomía del globo ocular según Alhazen (Martínez., 2002)

Entre otras estudió y describió la cámara oscura (Figura 18), cuyo estudio utilizó para explicar la formación de la imagen en el globo ocular. El experimento consta de tres luces colocadas delante de la cámara oscura para así observar, a través del orificio, la proyección de las luces se sitúa en la pared opuesta con la imagen invertida. Con este estudio se demuestra que la luz se propaga en línea recta que, al apagar la luz situada a la derecha, se desvanece la imagen izquierda, y viceversa, cuando se apaga la situada a la izquierda desaparece la derecha (Moya., 2014).

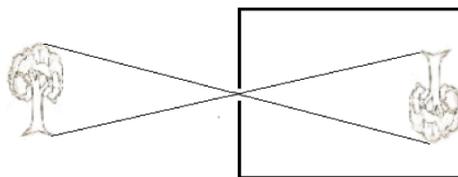


Figura 18 Modelo de la cámara oscura. Fuente: Elaboración propia.

El estudio de la cámara oscura le sirvió a Alhazen para utilizarla en varias aplicaciones (Moya., 2014):

1. Para el comportamiento de la luz: muestra la propagación de la luz en línea recta en varias direcciones mientras se transmite de manera continua, que un objeto opaco no lo interrumpa y que los rayos salgan por igual.
2. Para la observación de cuerpos luminosos como el Sol, las estrellas o el fuego a través de una atmosfera compacta de humo: se proyecta por el orificio y llega hasta una pantalla de manera rectilínea.
3. Para apartar el objeto de alteraciones externas: si el observador se coloca dentro de la cámara, donde se proyecta y mira por el orificio, se puede llegar a ver cuerpos luminosos como las estrellas, proyectándose siempre rectilínea.

La teoría de la visión comienza entorno al 600 a.C. cuando los pitagóricos pensaban que del globo ocular salía un flujo transparente que tocaba directamente el objeto observado. Un siglo después, Empédocles explicaba que además del flujo de Pitágoras existía un rayo luminoso del objeto. Demócrito negó la existencia de flujo del ojo y explicó la visión como la acción de los átomos que emiten los materiales luminosos sobre el globo ocular. Posterior a Demócrito, alrededor del 300 a.C., Euclides afirma: *“Los rayos emitidos por los ojos, se propagan por una recta”*. Pasado algunos siglos, entorno al siglo II d.C. Aparece Galeno, quien fue el primero en describir la estructura del globo ocular en la que se cita el cristalino, la retina y el nervio óptico. Para Galeno la formación de la visión parte de la elaboración por parte del cerebro que se transmite por el nervio visual, se desvanece por el cuerpo vítreo y se junta en el cristalino que lo denomina el órgano de percepción. Nueve siglos después, los descubrimientos de Galeno captan la atención de Alhazen, quien cogió la idea anatómica de él, aunque quitó el concepto de “luz de los ojos”. Para Alhazen la formación de la imagen se consigue a través de los rayos que emiten los objetos visibles llegando así a los ojos (Tarásov y Tarásova., 1985).

Alhazen rechazó las teorías de la visión de Ptolomeo y Euclides, que afirmaban que del ojo salía rayos luminosos llegando al objeto. Mientras él aseguraba que los rayos se originan en el objeto y no en el ojo, aunque no abandonó la idea de Euclides de la formación de un cono en la que el vértice es el ojo. Por un lado, la Teoría de la Intromisión de Aristóteles explica la visión como la transmisión de formas desde el objeto hasta el globo ocular. Por otro lado, los atomistas creían que del objeto salían partículas o átomos que se proyectaban en el aire y se introducían en el ojo. Para Alhazen: *“El acto de ver no se consigue por medio de rayos de luz emitidos por el órgano visual: La Visión se efectúa por rayos de luz procedentes de los objetos exteriores, que entran en el ojo”* (Delmar., 2016 and Jiménez., 2013).

Su teoría de la visión es compleja, novedosa y muy acertada, con el fin de resolver los problemas que los antiguos griegos no pudieron resolver. Alhazen consideraba la luz como un intermediario entre el objeto y el ojo, por lo que debía colaborar en la visión. La nueva base de la teoría de intromisión realizada por Alhazen (Figura 19) se basa en que los rayos de cada punto del objeto son emitidos en todas direcciones, de modo

que uno de esos rayos atraviesa en línea recta un pequeño agujero, que es la pupila, hasta formar la imagen en el interior del globo ocular. Para Alhazen la imagen se forma en el cristalino (Delmar., 2016 and Osuna et al., 2007).

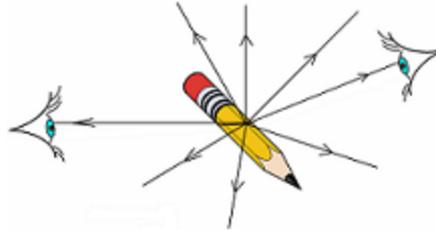


Figura 19 Esquema de la teoría de la visión de Alhazen (Bachiller., 2015)

Alhazen presentó algunas condiciones para que hubiera buena visión (Aldana y Hernández., 2020):

- El objeto debe desprender luz o ser iluminado por otro objeto.
- El objeto debe encontrarse entre ambos ojos para poder trazar una línea que lo conecte.
- El medio entre el objeto-ojo tiene que ser visible y que no se interponga ningún objeto opaco.
- El objeto debe tener mayor opacidad que el medio.

Aparte de mostrar cómo la luz proviene del objeto, también explica que existen distintas clases de fuentes de luz. Los primeros son los citados anteriormente que se emiten del objeto y los segundos son fuentes de luz secundarias que necesitan de una fuente primaria para que los rayos puedan llegar al globo ocular (Figura 20).

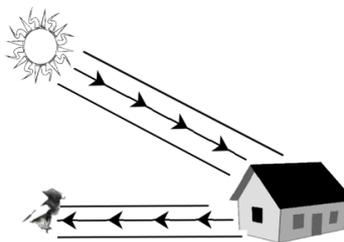


Figura 20 Representación de las fuentes primaria y secundaria de la luz. Fuente: Elaboración propia.

Además, se agrega algunos aspectos acerca de la luz en la teoría de la visión (Osuna et al., 2007):

- La luz es independiente del ojo del observador y de la fuente luminosa.
- Las fuentes luminosas extensas son consideradas rayos que se emiten en todas direcciones en línea recta.

- Los objetos que no se iluminan por sí mismo son fuentes de luz secundarias.

El fenómeno de la refracción ya había sido estudiado por los alejandrinos, pero Alhazen amplió ese estudio en la aplicación a los medios transparentes. Entendió que la refracción atmosférica explicaba el color del cielo y la forma ovalada del sol en el crepúsculo. Alhazen demostró que Ptolomeo se había equivocado con la relación entre ángulo de incidencia y refracción, aunque no pudo encontrar la verdadera razón de ella. No fue hasta el siglo XVII por Snell que demostró la ley física de los ángulos con respecto a la refracción (Rueda., 1993). Describe la refracción como un fenómeno entre dos medios de distinta naturaleza como agua, aire, aceite, entre otros, de modo que el rayo se divide en dos líneas, una que va paralela y otra perpendicular al plano entre los dos medios (Aldana y Hernández., 2020).

Además, escribió una obra acerca "*Los Colores y sus Imágenes*", en la que entendió que el color era una propiedad del objeto que los convierte en visible. a la conclusión de que existe una relación entre el color y la luz debido a estudios realizados la luz puede colorear el objeto o según los niveles de iluminación pueden afectar al color del objeto (González., 2015).

5.2 MEDICINA MEDIEVAL

En el Occidente latino no terminaron de entender las obras en lengua árabe de esta especialidad. En cambio, aportaron un invento clave que fueron los anteojos, esto es, dos lentes colocadas en un soporte adaptado de modo que se queda fijado delante de ambos ojos. Aunque las lentes ya fueron fabricadas en la época árabe, el cristal no se empezó a perfeccionar hasta el siglo XVIII (Rueda., 1993).

ROGER BACON

Roger Bacon (Figura 21) nació en Inglaterra en 1214, ya de joven estudiaba Aritmética, Astronomía, Geometría y Música. Estudió en la Universidad de Paris, donde más adelante dio clases sobre las teorías de Aristóteles. También estudió en la Universidad de Oxford, donde gracias a la influencia de Grosseteste empezó a realizar investigaciones en Ciencias, Matemáticas, Idiomas y Óptica. Durante unos años perteneció a la Orden de los Franciscanos. Bacon ha recibido gran influencia de autores griegos y árabes. Murió en 1294 (Ruiz., 2003 and Jiménez., 2013).



Figura 21 Retrato de Roger Bacon (Davidson., 2009).

En 1266 escribió *Opus Majus* en el que se dividía en siete partes. En su parte V, *La Perspectiva*, estudia la visión, la luz y el color a partir de antiguos autores como Aristóteles, Avicena, Euclides, Ptolomeo y sobre todo Alhazen (Cardona., 2012).

La primera parte del relato comprende la anatomía del ojo, los problemas de visión y los defectos visuales. En su teoría de la visión hace una combinación de la Teoría de Intromisión y la Teoría de Extromisión, en la cual se hace posible cuando los rayos del objeto llegan al cristalino y se completa cuando avanza hasta el vítreo, nervio óptico y por último al nervio común. Para él el rayo principal es perpendicular al globo ocular y los demás rayos son secundarios para una visión indirecta. También en esta parte, hace referencia de las ilusiones ópticas, imágenes invertidas, la visión larga, el aumento y otros temas (Hackett., 2007).

La segunda y tercera parte explica la geometría de la visión directa, reflejada y refractada, es decir, las leyes de reflexión y refracción. Bacon nombra cuatro tipos de trayectos que unen dos puntos en la propagación de la luz (Cardona., 2012 and Hackett., 2007):

1. Línea recta que une dos puntos, para que esto ocurra: el medio debe ser uniforme, no debe existir ningún obstáculo a lo largo del trayecto y que haya nada que se interponga.
2. Los dos puntos están en medios distintos, puede ocurrir que: (i) los dos medios tengan similar transparencia; (ii) aunque tenga distinta transparencia, la recta atraviesa perpendicular a la interfase de ambos medios; (iii) los medios tienen

distintas propiedades de transparencia y la recta atraviesa la interfase de forma oblicua (refracción).

3. Existencia de un obstáculo en el segundo medio por lo que la trayectoria vuelve al primer medio (reflexión).
4. La información que le llega no es en línea recta por lo que deben separar el trayecto y ajustarse a lo que se le impone.

La influencia de Bacon llegó a Pierre de Limoges, en su obra *De oculo morali* escrito en 1275 y en la que contiene una pequeña copia de *Perspectiva*. Además de esta obra, también escribió *De multiplicatione specierum*, *De speculis comburentibus* y *Opus Tertium* (Hackett., 2007 and Jiménez., 2013).

En su obra también mencionó el uso de lentes: “*Un segmento de esfera de vidrio o cristal hace ver los objetos más gruesos, y que este debería ser un útil instrumento para las personas ancianas*”. Por tanto, colocó la parte convexa hacia el ojo y la plana sobre letras para aumentar las letras. Se sabe que en Occidente fue donde se inventó los anteojos, pero hay hipótesis que debaten si es Roger Bacon el inventor de los anteojos, ya que, él fue quien afirmó una teoría a partir de lentes convexas para ayudar a las personas mayores con la visión débil (presbicia). En conclusión, se desconoce el inventor de los anteojos, solo se sabe que fue por la zona de Venecia (Rueda., 1993, Jiménez., 2013 and Simón et al., 2004).

6. LA ÓPTICA EN EL ÁMBITO DEL ARTE Y EL CINE

La óptica en el ámbito del arte, dentro de las épocas estudiadas tiene sus más antiguas muestras en el siglo XIV, siendo el *Retrato del Cardenal Hugues de Saint-Cher* (1352) obra de Tommaso da Módena. Debido a esto encontramos una clasificación de las obras en dos grupos: por un lado, las pinturas como esta última nombrada, que son pinturas que muestran la realidad del momento donde se pintaron, es decir, el uso que se le daba a las gafas en la época medieval. Por otro lado, pinturas realizadas en la época medieval pero que representan momentos pasados.

Respecto al ámbito del cine seguirá la dinámica del segundo grupo enunciado anteriormente, ya que serán obras posteriores que reflejan las épocas antiguas que estudiamos.

PINTURAS DEL MOMENTO

Como hemos dicho, la primera pintura donde aparecen unos anteojos es *Retrato del Cardenal Hugues de Saint-Cher* (1352) obra de Tommaso da Módena (Figura 22). Dicho autor también realizó en 1352 la primera obra donde aparece el monóculo representado en *Retrato del Cardenal Dominicano Nicolás de Fréauville* (Figura 23).

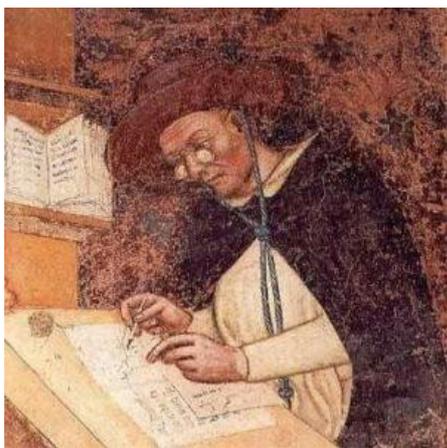


Figura 22 *Retrato del Cardenal Hugues de Saint-Cher* (1352), por Tommaso da Módena (Sailko., 2007).

En este ámbito, las pinturas se centran en escenarios religiosos debido a que los principales usuarios de los anteojos era el clero. En las primeras representaciones, las pinturas muestran a los personajes principales en su ámbito de trabajo. Esto nos lleva a la conclusión de que las gafas en estas primeras representaciones era una herramienta específica para determinados trabajos como la copia de manuscritos o el estudio y la lectura, oficios desarrollados por las comunidades religiosas de la época.

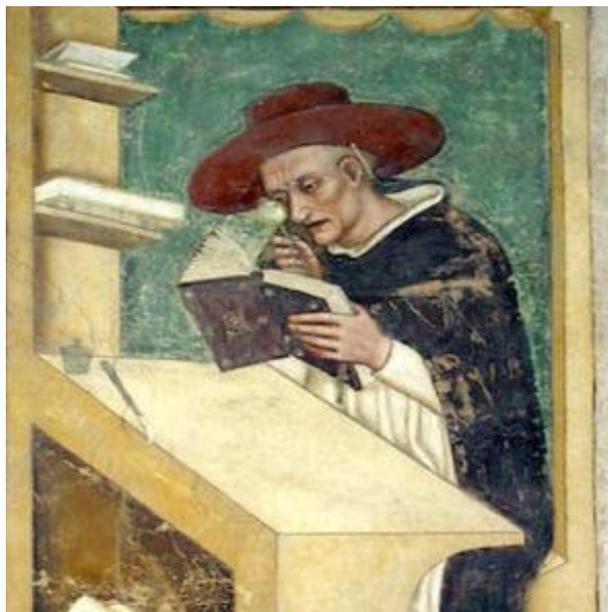


Figura 23 *Retrato del Cardenal Dominicano Nicolás de Fréauville* (1352), por Tommaso da Módena (Krén and Marx., 1996).

A finales de la Edad Media, aparecen los primeros retratos estáticos que no representaban lugares de trabajo. Esto nos lleva a la conclusión, de que poco a poco los anteojos empiezan a pasar de ser una herramienta específica de un oficio a ser un complemento habitual en los personajes principales. Esto se observa en la obra *Virgen con el canónigo Van der Paele* (1436), obra de Jan Van Eyck (Figura 24).



Figura 24 *Virgen con el canónigo Van der Paele* (1436), por Jan Van Eyck (Arte historia., 2017).

PINTURA HISTÓRICA

Las obras descritas en este apartado siguen la característica de la representación de los anteojos, pero siendo la época que representan anterior a la Edad Media. Dichas obras en general muestran diferentes escenas religiosas, utilizando el antejo como un valor característico del personaje más que como una herramienta. Es decir, aquellos personajes que aparecen acompañados de gafas destacaran por su sabiduría, conocimiento y su hábito de estudio.

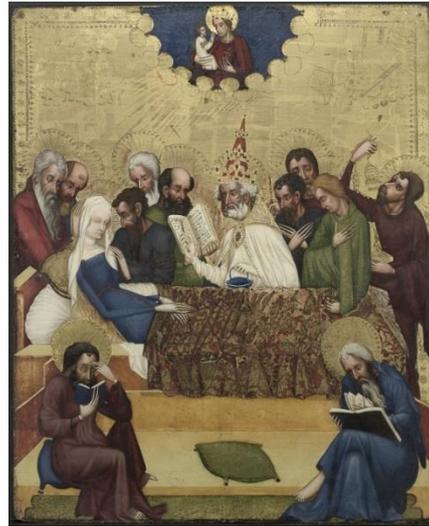
Ejemplos de estos casos, los encontramos en *El Milagro de la Torre* (1382), obra de Giusto de Menabuoi (Figura 25); *Muerte de la Virgen* (1400), obra del Maestro de Heiligenkreuz (Figura 26).



Figura 25 *El Milagro de la Torre* (1382), por Giusto de Menabuoi (Jiménez., 2013).



Figura 26 Muerte de la Virgen (1400), por el Maestro de Heiligenkreuz (Meisterdrucke., 2020).



GAFAS Y CINE

Haciendo única referencia a las apariciones de anteojos en obra cinematográficas de temática medieval, el más destacado de los ejemplos sería *El Nombre de la Rosa* (1986), dirigida por Jean-Jacques Annaud, donde el personaje principal Fray Guillermo de Baskerville muestra los anteojos como una herramienta única en la época debido a su supuesta creación moderna, además de darle un carácter de uso personal (Maiso., 2019).

En el dialogo entre Fray Guillermo y Nicola (Figura 27), se destaca la impresión de que dichos objetos son artilugios relacionados con la brujería, aunque el protagonista hace defensa tanto de dicho utensilio como de la ciencia que ha permitido su creación (Eco., 1980).

"Metió las manos en el sayo y extrajo sus lentes, que dejaron sorprendido a nuestro interlocutor.

Nicola cogió la horquilla que Guillermo le ofrecía. La observó con gran interés, y exclamó:

- *¡Oculi de vitro cum capsula! ¡Me habló de ellas cierto fray Giordano que conocí en Pisa! Decía que su invención aun no databa de dos décadas. Pero ya han transcurrido otras dos desde aquella conversación.*
- *Creo que se inventaron mucho antes -dijo Guillermo-, pero son difíciles de fabricar, y para ello se requieren maestros vidrieros muy expertos. Exigen mucho tiempo y mucho trabajo. Hace diez años un par de estos Viteri ab oculis ad legndum se vendieron en Bolonia por seis sueldos. Hace más de una década el gran maestro Salvirio degli Armati me regaló un par, y durante todos estos años los he conservados celosamente como si fuesen, como ya lo son, parte de mi propio cuerpo.*
- *Espero que uno de estos días me los dejéis examinar, no me disgustaría fabricar otros similares -dijo emocionado Nicola.*
- *Por supuesto -consintió Guillermo-, pero ten en cuenta que el espesor del vidrio debe cambiar según el ojo al que ha de adaptarse, y es necesario probar con muchas de estas lentes hasta escoger la que tenga el espesor adecuado al ojo del paciente.*
- *¡Qué maravilla! -seguía diciendo Nicola-. Sin embargo, muchos hablarían de brujería y de manipulación diabólica...*
- *Sin duda, puedes hablar de magia en estos casos -admitió Guillermo-. Pero hay dos clases de magia. Hay una magia que es obra del diablo y que se propone destruir al hombre mediante artificios que no es lícito mencionar. Pero hay otra magia que es obra divina, ciencia de Dios que se manifiesta a través de la ciencia del hombre, y que sirve para transformar la naturaleza, y uno de cuyos fines es el de prolongar la misma vida del hombre. Esta última magia es santa, y los sabios deberán dedicarse cada vez más a ella, no sólo para descubrir cosas nuevas, sino también para redescubrir muchos secretos de la naturaleza que el saber divino ya había revelado a los hebreos, a los griegos, a otros pueblos antiguos e, incluso hoy, a los infieles (¡no te digo cuántas cosas maravillosas de óptica y ciencia de la visión se encuentran en los libros de estos últimos!)."*

Figura 27 Diálogo del libro "En el Nombre de la Rosa" (Eco., 1980).

Otra característica destacable de esta obra es su doble aparición en el arte ya que dicha película está basada en la novela escrita por Umberto Eco en 1980 y con el mismo título que la película.

7. CONCLUSIONES

- En la Antigüedad el estudio de la óptica se desarrolló en tres ramas:
 - o Los estudios que se desarrollan en Egipto y Mesopotamia, anteriores al siglo VIII a.C., se centrarán en el estudio de las enfermedades oculares.
 - o En Grecia se estudian las ramas médicas y anatómicas, aunque los estudios más destacados los encontraremos en el campo de la física, desarrollándose dos teorías principales en la época “clásica”, desde el siglo VI a.C. al siglo IV a.C.:
 - Teoría de la Intromisión apoyada por Aristóteles y los atomistas, en la que se expone que el contacto entre el ojo y el objeto se realiza a través de un medio.
 - Teoría de la Extromisión defendida por Platón, Empédocles y los pitagóricos afirma que del ojo surgen unos rayos ya que en su interior existe fuego.
 - o En Roma la investigación se centró en la anatomía del globo ocular, destacando las investigaciones realizadas por Galeno mediante las disecciones de los animales en el siglo II d.C.
- En la Edad Media destaca la evolución de las teorías físicas, produciéndose dos metodologías de estudio:
 - o Alhazen durante el siglo X d.C. realiza un estudio de las teorías de la óptica centrándose únicamente en la Teoría de la Intromisión a la cual incluye el uso de los rayos de luz.
 - o Roger Bacon durante el siglo XIII d.C. busca la unificación de ambas teorías.
- Esta teoría seguirá evolucionando a lo largo del tiempo siendo los siguientes autores, Kepler y Leonardo da Vinci, los que más investiguen sobre ella. Además, dará lugar a las leyes de la óptica actual y a los conocimientos necesarios para la realización de lentes que conocemos hoy en día.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aivar Rodríguez MP, Travieso García D. Las teorías de la percepción visual y el problema del movimiento. *Revista de Historia de la Psicología*. 2009; 30 (2-3): 13-18.

Alba. El Faro de Alejandría: una de las siete maravillas del mundo. *Sobre historia (Tendencias)*. 2020 [En línea]. [Consultado en mayo 2021]. Disponible en: <https://sobrehistoria.com/faro-de-alejandria/>

Aldana Boada MC, Hernández Sepúlveda LP. Algunas explicaciones sobre la reflexión y refracción de la luz desde las experiencias de las estudiantes de grado undécimo. [Trabajo fin de grado]. Bogotá: Universidad pedagógica nacional, Facultad de ciencia y tecnología, Especialización en docencia de las ciencias para el nivel básico; 2020.

Arte historia. Virgen del canónigo van der Paele. 2017 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: <https://www.artehistoria.com/es/obra/virgen-del-can%C3%B3nigo-van-der-paele>

Asensi Pérez P. Herón de Alejandría. [Trabajo fin de grado]. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona; 2013.

AstroMía. Demócrito de Abdera y la “teoría atómica”. 2016 [En línea]. [Consultado en abril 2021]. Disponible en: <https://www.astromia.com/biografias/democrito.htm>

Bachiller R. La revolución de Alhacén: de las tinieblas a la luz. *El Mundo*. 2015: 1-3.

Barbero S. Los defectos ópticos de la visión explicados por Aristóteles. *Asclepio*. 2013; 65 (1): 2-10.

Baza Álvarez G. La medicina árabe: cuerpo, alma, salud y enfermedad. En: Espinar Moreno M, director. *Estudios sobre patrimonio, cultura y ciencias medievales*. 23ª ed. Cádiz-Granada: HUM-165; 2021. p. 65-80.

Bergamino G. *Historia de la ciencia antigua*. Madrid: Susaeta, S.A; 2019.

Calvo Martínez T. *Aristóteles: Acerca del Alma*. 1ª ed. Madrid: Gredos, S.A; 1978.

Calvo Padilla ML. La excepcional contribución de Ibn-al-Hytham (Alhacén) a las ciencias. *Revista española de física*. 2015; 29 (1): 31-35.

Campohermoso Rodríguez O F, Soliz Soliz R, Campohermoso Rodríguez O, Zúñiga Cuno W. Hipócrates de Cos, Padre de la Medicina y de la Ética Médica. *Cuad. - Hosp. Clín.* 2014; 55 (4): 59-68.

Campohermoso Rodríguez O, Soliz R. Herófilo y Erasístrato, Padres de la Anatomía. *Cuad Hosp Clín.* 2009; 54 (2): 137-140.

Campohermoso Rodríguez OF, Soliz Soliz RE, Zúñiga Cuno W. Galeno de Pérgamo “Príncipe de los médicos”. *Cuadernos*. 2016; 57 (2): 84-93.

Cardona Suárez CA. Tres modelos de explicación de la refracción: Bacon, Pecham, Witelo. Anales del Seminario de Historia de la Filosofía. Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia. 2012; 29 (2): 449-480.

Chaucer G. España musulmana (Al-Ándalus), medicina islámica. Remedios integrales, cuerpo, mente y espíritu en la historia del islam en Al-Ándalus. L'Ase Ronyós de la Cua Tallada. 1997

Cotallo JL. La catarata en la historia de la humanidad (de la prehistoria al siglo XX). Academia.edu. 2007; 1-52.

Davidson MW. Pioneers in optics: Alhazen and Rogen Bacon. Microscopy Today. 2009; 17 (3): 44-45.

Delmar F. Principio(s) de incertidumbre: Percepción y luz en la ciencia y en el arte. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos; 2016.

Ecelan. Medallón con un relieve representando a Herófilo en la Antigua Facultad de Medicina de Zaragoza. 2011 [En línea]. [Consultado en junio de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Her%C3%B3filo#/media/Archivo:Zaragoza_-_Antigua_Facultad_de_Medicina_-_Medall%C3%B3n_-_Her%C3%B3filo.jpg

Eco U. Il nome della rosa. Italia: Bompiani; 1980.

EcuRed. Almagesto (libro). 2011 [en línea]. [Consultado en abril 2021]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Almagesto_\(libro\)](https://www.ecured.cu/Almagesto_(libro))

García Gual C. Aristóteles: Investigación sobre los animales. Madrid: Gredos, S.A; 1992.

García Romano MP. Sanar y dañar en la Baja Edad Media: la medicina, la magia, la brujería y su relación con la sociedad cristiana occidental. [Trabajo Fin de Máster]. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, Facultad de Filosofía y Letras; 2012

Gil González F. Los cuidados intensivos en el Antiguo Egipto a través de los textos. Cultura de los cuidados. 2012; 16 (34): 64-70.

Girón Irueste FM. La medicina árabe medieval. Panacea. 2019; 10 (50): 56-76.

González Hernando I. Instrumental quirúrgico. Base de datos digital de Iconografía Medieval [en línea]. Universidad Complutense de Madrid. 2018

González-Cano A. Alhacén: una revolución óptica. Arbor. 2015; 191 (775): 2-13.

Hackett J. Roger Bacon. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. En: Zalta EN, editor. California: Universidad de Standford; 2007.

Heisenberg W. Physics and Philosophy. Buenos Aires: LA isla, S.R.L; 1959.

Jiménez Benito J. Daza de Valdés en la oftalmología. [Tesis Doctoral]. Barcelona: Universidad autónoma de Barcelona, Facultad de Medicina, Departamento de Cirugía; 2013.

Jiménez Sánchez-Escariche E, Alonso Miguel A. Aristóteles: Partes de los animales, marcha de los animales, movimiento de los animales. Madrid: Gredos, S.A; 2000.

Krén E, Marx D. Tommaso da Módena. Web Gallery of Art. 1996 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: https://www.wga.hu/html_m/t/tommaso/cardinal.html

Ledermann W. Una mirada crítica sobre la medicina en el Antiguo Egipto. Rev chilena Infectol. 2016; 33 (6): 680-685.

López Villalba A. Dentro del espejo. La máquina catóptrica o espejo teatral. Acotaciones. 2019; 42: 15-36.

Magnus H. Ophthalmology of the Ancients. Bélgica: J.P Wayenborgh; 1999.

Maiso AG. Mejores películas sobre la Edad Media. El cine en la sombra. 2019 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: <https://www.elcineenlasombra.com/mejores-peliculas-la-edad-media/>

Martínez R. Del ojo. Ciencia y representación. Redalyc. 2002; 66: 46-57.

Mas Torres S. Historia de la filosofía antigua: Grecia y el helenismo. Madrid: UNED; 2003.

Mate turismo. Euclides cohabitando con los dinosaurios en Oxford. Turismo matemático. 2012 [En línea]. [Consultado en junio de 2021]. Disponible en: <https://mateturismo.wordpress.com/2012/02/26/euclides-cohabitando-con-los-dinosaurios-en-oxford/>

Mateus Quiñones DM. Una propuesta didáctica con fluidos para facilitar la comprensión de la hidrostática en estudiantes de grado décimo. [Tesis Doctoral]. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales; 2020.

Meisterdrucke. Muerte de la Virgen, c. 1400. 2020 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Master-of-Heiligenkreuz/779518/Muerte-de-la-Virgen,-c.-1400.html>

Meisterdrucke. San Jerónimo en su Estudio. 2019 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Jaume-Ferrer/13298/San-Jer%C3%B3nimo-en-su-Estudio.html>

Moya MP. La cámara oscura como prehistoria de la fotografía. [Tesis Doctoral]. Cuenca: Universidad de Castilla – La Mancha, Facultad de Bellas Artes de Cuenca, Departamento de Arte; 2014

Narbona R. Platón y la sombra de Sócrates. El cultural. 2020 [En línea]. [Consultado en junio de 2021]. Disponible en: <https://elcultural.com/platon-y-la-sombra-de-socrates>

Narmer J. Mohamed Al-Gafequi. 2014 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Mohamed_Al-Gafequi

Ortiz García P. Aristóteles sobre las líneas de la mecánica y Euclides: óptica, catóptrica y fenómenos. Madrid: Gredos, S.A; 2000.

Osuna García L, Martínez Torregrosa J, Carrascosa Alís J, Verdú Carbonell R. planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. Enseñanza de las ciencias. 2007; 25 (1): 277-294.

Pérez Assef JJ, Armenteros Castañeda JK, Hernández de Oro LM. Avicena, príncipe de los médicos: vida, obra y legado para la medicina contemporánea. Revista Cubana de Medicina. 2018; 57 (1): 66-79.

Pérez Mogollón JF. Una visión histórica de la óptica. Cienc Tecnol Salud Vis Ocul. 2006; 4 (6): 71-78.

Pérez Reverte A. Aristóteles, el que sabía de todo. Zenda libros. 2018 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: <https://www.zendalibros.com/aristoteles-el-que-sabia-de-todo/>

Rabía León D. Ilusiones ópticas: creación de espacios escénicos y alternativos con espejos. [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Dibujo II (Diseño e Imagen); 2008

Raffino ME. Óptica. Argentina: Concepto de. 2020 [En línea]. [Consultado en mayo del 2021]. Disponible en: <https://concepto.de/optica/#ixzz6xHlHlTC>

Rodríguez Molero FJ. Un maestro de la medicina arábigo-española: Averroes. Rev. eug. 1962; 11: 55-73.

Romero Reverón R. Aportes al conocimiento anatómico realizados por la Escuela de Medicina de Alejandría. En: Díaz Bruzual A, López Loyo E, editores. Colección Razetti. Volumen XXI. Caracas: Ateproca; 2018. p. 517-526.

Rueda Sánchez AM. Contribución al estudio de la historia de la optometría en España. [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia; 1993.

Ruiz Zúñiga A. Historia y filosofía de las matemáticas. 1ª ed. San José, Costa Rica: EUNED; 2003.

Ruiza M, Fernández T, Tamaro E. Biografía de Euclides. En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona (España); 2004.

Said-Farah M. El maristán y Al-Madrasa; Hospital-escuela de medicina (II). Arch soc esp oftalmol. 2008; 83: 277-280.

Sailko. Tommaso da Módena, ritratti di domenicani (Ugo di Provenza) 1352 150 cm, treviso, exconvento di San Niccolò, sala del capitolo. 2007 [En línea]. [Consultado en junio del 2021]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tommaso_da_modena,_ritratti_di_domenicani_\(Ugo_di_Provenza\)_1352_150cm,_treviso,_ex_convento_di_san_niccol%C3%B2,_sala_del_capitolo.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tommaso_da_modena,_ritratti_di_domenicani_(Ugo_di_Provenza)_1352_150cm,_treviso,_ex_convento_di_san_niccol%C3%B2,_sala_del_capitolo.jpg)

Samsó J. Ciencias de los antiguos en al-Ándalus. 2ªed. Almería: Fundación Ibn Tufaly; 2011.

Simón-Tor JM, Simón-Castellví SI, Simón-Castellví G, Simón-Castellví JM, Simón Castellví C. Los mitos sobre el origen de los anteojos (III). Arch Soc Esp Oftalmol. 2004; 79 (8): 409-411.

Strathern P. Pitágoras y su teorema en 90 min. España: Siglo XXI de España Editores, S.A; 2014.

Tarásov L, Tarásova A. Charlas sobre la refracción de la luz. Moscú: MIR; 1985.