

00267  
11  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLASTICAS

**APORTACIONES DE  
LEONARDO DA VINCI A LA OPTICA  
CONTEMPORANEA**

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN ARTES VISUALES (PINTURA)**  
PRESENTA:  
**María Luisa González Álvarez**

MEXICO, D.F.

1995

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Anatomía Artística de la Escuela Nacional de Artes Plásticas, bajo la dirección del Dr. Hermilo Castañeda Velasco y la asesoría del Lic. Juan Diego Razo Oliva a quienes expreso mi más sincero agradecimiento por su valiosa ayuda que hizo posible la realización del mismo.

**DEDICO ESTA TESIS CON TODO CARIÑO A DIOS EN  
MEMORIA DE MIS ABUELITOS:  
HERMINIO Y BENIGNA  
MANUEL Y MA. DE LA LUZ.**



AGRADECIENDO SU APOYO Y CARÑO LA DEDICO A:  
MIS PAPAS  
MANUEL Y MARIA LUISA

A MIS HERMANOS  
MA. DEL CARMEN, LUZ MARIA,  
MA. DE LOS ANGELES  
MA. DE LOURDES

GERARDO

A MIS SOBRINITOS  
MARILU, ANGELITOS, GERARDITO Y LUPITA.

**AGRADEZCO A LOS PROFESORES DE INFORMATICA:  
GERARDO DE JESUS FLORES GUERRA BISTRAN  
Y  
JAVIER C. SANCHEZ VAZQUEZ,  
POR SU VALIOSA ASESORIA EN EL DESARROLLO DE LA PARTE DE  
INFORMATICA Y COMPUTACION.**

AGRADEZCO AL  
DR. ROLANDO NERI VELA  
POR SU APOYO EN LA PARTE HISTORICA DE LA  
OFTALMOLOGIA.

**"Al principio Creó Dios los cielos y la tierra. La tierra estaba confusa y vacía y las tinieblas cubrían la faz del abismo, pero el Espíritu de Dios se cernía sobre la superficie de las aguas."**

**"Dijo Dios: "Haya luz", y hubo luz"**

**( Génesis, 1,1).**

## INDICE

	PÁGINA No.
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I :</b>	<b>4</b>
<b>Conocimientos relacionados con la óptica antes del Renacimiento</b>	
<b>CAPITULO II:</b>	<b>13</b>
<b>Manuscritos de Leonardo Da Vinci en relación con la óptica.</b>	
<b>CAPITULO III:</b>	<b>28</b>
<b>Principales aspectos de ls teorías actuales sobre óptica.</b>	
<b>CAPITULO IV:</b>	<b>44</b>
<b>Estudios de Leonardo Da Vinci sobre óptica confrontados con los avances actuales de esta parte de la física.</b>	
<b>CAPITULO V:</b>	<b>57</b>
<b>Importancia de los conocimientos de la óptica aplicados a la pintura.</b>	
<b>CAPITULO VI:</b>	<b>64</b>
<b>Posibles aplicaciones de la holografía en el arte.</b>	

	<b>Página No.</b>
<b>CAPITULO VII:</b>	<b>73</b>
<b>Las fibras ópticas.</b>	
<b>ANEXO 1:</b>	<b>80</b>
<b>Índice de Manuscritos de Leonardo Da Vinci.</b>	
<b>ANEXO 2:</b>	<b>88</b>
<b>La computadora y el arte.</b>	
<b>ANEXO 3:</b>	<b>95</b>
<b>Noticia histórica sobre la compra del manuscrito de Leonardo Da Vinci.</b>	
<b>RESUMEN</b>	<b>97</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>118</b>

## INTRODUCCIÓN.

La presente investigación pretende analizar las aportaciones de los trabajos científicos de Leonardo Da Vinci a la óptica contemporánea, considerando los trabajos de los científicos del mundo oriental que enfocaron su atención en los fenómenos relacionados con la visión y la luz.

Los estudios realizados por Leonardo Da Vinci, no solamente son interesantes desde el punto de vista científico, ya que al tratar sobre el comportamiento de la luz y la visión, interesan también en el ámbito artístico, siendo el fenómeno del color y la luz parte importante en la pintura como actividad artística del hombre. Leonardo comienza sus estudios sobre física en 1508 en la ciudad de Florencia; continúa en Roma durante 1513 hasta 1515.

Leonardo Da Vinci, genio universal, ansioso y lleno de inquietud, motor en el desarrollo intelectual y artístico del Renacimiento, reflejado en sus escritos, en donde se conjugan la observación científica con el razonamiento filosófico; quien alterna estas investigaciones con el poético esquema de una flor o la mágica sonrisa de una dama, para llegar al profundo conocimiento de la anatomía humana, nos lleva en sus vertiginosas ideas a los conocimientos actuales de las teorías más aceptadas sobre la forma en que la luz viaja a través del espacio, ayudando de esta manera a los descubrimientos que en siglos posteriores a él se desarrollaron y nos permite comprender el cómo y por qué la luminosidad y viveza de colores en su obra se puede percibir aún reflejado en sus pinturas.

Siendo la luz un fenómeno de importancia en las artes plásticas, el estudio de ella, considerado no solamente desde el punto de vista artístico, sino también del científico, nos permitirá comprender mejor su función y aplicar estos conocimientos en las tareas artísticas como un apoyo.

Para llevar a cabo este análisis se tomaron como base los esquemas realizados por Leonardo y sus manuscritos en relación al tema. Estos estudios se pueden considerar como la pauta central para los conocimientos que en la actualidad se tienen del comportamiento de la luz y por ende del color, de vital importancia en la pintura. Para ilustrar el trabajo se elaboraron reproducciones hechas por medio de la computadora de los esquemas realizados por Da Vinci.

Dentro de los estudios realizados por Leonardo Da Vinci, se observa su amplio conocimiento respecto a la forma de transmisión de la luz, lo que se puede observar en sus esquemas en donde se muestra este fenómeno como un movimiento ondulatorio, sirviendo de pauta a posteriores investigadores hasta llegar a las ideas de la luz como un fenómeno partícula-onda. La construcción de aparatos ópticos como : telescopios, proyectores, máquinas que permitan la fabricación de lentes, junto con muchísimas otra aportaciones a la ciencia, así como a las artes visuales.

Se propuso el título de "Aportaciones de los trabajos de Leonardo Da Vinci a la óptica contemporánea" para dar idea bastante clara de lo que se pretende realizar durante el estudio de los documentos de Leonardo; para ello se localizarán en la bibliografía reproducciones de los manuscritos científicos de Leonardo, en lo que a la óptica se refiere, enfocándolos a sus aplicaciones en la pintura, indicando y comentando cómo estos conocimientos pueden afectar a esta rama de las artes.

Para llevar a cabo esta investigación, se hizo una revisión tanto del estado de los conocimientos antes del Renacimiento, en la época de Leonardo, así como en la actualidad. Posteriormente todo esto se confrontó para saber cómo influye en la pintura. Las etapas que cubrió el trabajo fueron: Confrontar los conocimientos relacionados con la óptica en la época anterior al renacimiento, con



los manuscritos de Leonardo Da Vinci y las teorías actuales en relación con la óptica para conocer cómo influyen en los avances de esta parte de la física y su efecto en las artes visuales contemporáneas.

Las fuentes principales de consulta fueron las reproducciones de los manuscritos de Leonardo Da Vinci y la bibliografía contemporánea acerca de las teorías actuales de la óptica, para realizar la confrontación.

Finalmente, para ilustrar lo antes mencionado anexamos esquemas digitalizados por computadora de las reproducciones de los originales de Leonardo Da Vinci.

## CAPITULO I.

### CONOCIMIENTOS RELACIONADOS CON LA ÓPTICA ANTES DEL RENACIMIENTO.

Hablar de óptica necesariamente nos conduce al estudio de la luz, poética, intangible, inseparable compañera del color y por lo tanto de la pintura. No se puede concebir que exista vida sin luz, ni que el desarrollo de la humanidad se lleve a cabo en completa oscuridad.

Debido a la importancia que tiene la óptica, puede ser que sea una de las ciencias que primero surge, sin embargo no se pretende en este capítulo hacer un análisis formal de la óptica, sino más bien recopilar datos para saber de qué manera se fue desarrollando en épocas anteriores al Renacimiento y cómo originó no sólo los estudios de Leonardo Da Vinci, sino también los que se vienen realizando en la actualidad.

Pero dejamos el preámbulo para entrar en el análisis de la historia de la óptica; y para comenzar como debe ser transportémonos, por medio de los estudios arqueológicos de las antiguas civilizaciones, a Nínive, antigua capital asiria, en donde se encontró una pieza de cristal de roca, pulida en forma de lente convergente; en Creta también se encontraron dos lentes de aumento que datan del 1200 A.C.; y en las tumbas de Egipto trozos de espejos pulidos, lo que nos muestra lo antiguo del origen de estos estudios. En lo que respecta a Grecia, existen algunos documentos en los que se describen fenómenos ópticos, como la propiedad de producir fuego usando para ello un lente. ( CETTO: 1987, P. 66). Son los griegos quienes proponen las primeras teorías ópticas; sin embargo, confundían la luz con la visión.

En la escuela pitagórica se afirmaba que la visión era producida por "la proyección de imágenes lanzadas desde los objetos hacia el ojo"; mientras Euclides y Platón declan que "la sensación visual se produce cuando los haces oculares enviados desde los ojos chocan con los objetos". Aristóteles también opinó al respecto proponiendo que "el medio entre el objeto y el ojo desempeña un papel esencial".

Gracias a los matemáticos griegos, quienes estudiaron los aspectos geométricos de los fenómenos ópticos, fue posible en esta parte de la física lograra avances en su estudio, pudiéndose de esta manera explicar la propagación rectilínea de la luz y la igualdad existente entre los ángulos formados por el rayo incidente y el reflejado respecto a una superficie plana.

Con una aplicación práctica de la óptica realmente se venció a los romanos en la batalla de Siracusa, porque los estudios de Arquímedes permitieron la construcción de los espejos cóncavos, y fue también Arquímedes quien inspiró a Herón en sus descubrimientos de que el rayo siempre sigue el camino más corto entre el objeto y el ojo.

Claudio Tolomeo en su **Libro Quinto de Óptica** escribe sobre la construcción de un aparato empleado para medir exactamente los ángulos de incidencia y refracción, encontrando, por sus estudios al respecto, que la refracción existente en la atmósfera aumenta con la distancia de los astros al cenit, siendo más notables los efectos en la zona cercana al horizonte, cuestión importante en la pintura de paisajes. (CETTO: op. cit.)

Pero adentrándonos más en la historia de la óptica, sabemos que, como saber técnico, llega a Europa desde oriente, hacia Grecia Jónica, posteriormente hacia Atenas y sur de Italia regresando a oriente en Alejandría. (JEANS: 1986, pp. 29 a 73).

La ciencia encuentra oposición por parte de las órdenes religiosas y esto provoca que los conocimientos se dispersen, originando que durante el Medievo fueran los árabes quienes traducen las obras clásicas griegas al árabe, trayendo también conocimientos médicos y de aritmética provenientes de la India.

A finales del siglo V, la invasión ariana es la pauta para el florecimiento cultural y es gracias a esto que los árabes realizan una amplia recopilación de conocimientos. En lo que a óptica se refiere, apreciaron mucho las posibilidades de los instrumentos ópticos.

En el siglo IX, Alkindi de Basora y Bagdad (813-80) escribe sobre los fenómenos de la refracción de la luz. Y en las postrimerías del siglo X cambian las condiciones y a pesar de que termina la edad de oro del Islam; es en esta época, aproximadamente, cuando Ibn al-Haitian, mejor conocido en Europa como Alhacén o Alhazan (965-1038) trabaja en El Cairo en relación a la refracción de la luz, encontrando que la ley de Tolomeo ( $\theta_1 = \mu\theta - \nu^2$  es decir,  $\sin \theta_1 = \mu \sin \theta$ ) se cumple para ángulos pequeños. Estudia también los espejos esféricos y parabólicos y el aumento producido por las lentes, resolviendo el problema que lleva su nombre; encontró la relación entre las posiciones de una fuente luminosa y la imagen formada en la lente. Explicó además que la visión se debía a que "algo sale del ojo y toca el objeto". En fin que es Alhacén quien le da a la óptica modernidad, nombrando a las distintas partes del ojo (retina, córnea, humor acuoso, humor vítreo, etc.) (JEANS: op. cit.)

En este mismo siglo la ciencia occidental vuelve a adquirir fuerza, revitalizándose en Córdoba y Toledo y extendiéndose al resto de Europa occidental. Se traducen del árabe al latín los libros de Aristóteles, Euclides, Arquímedes, Apolonio y otros. Es a Domingo González de Toledo a quien se debe la traducción de la Física y otras obras de Aristóteles al latín, siendo el traductor más

importante Gerardo de Cremona (1114-87) a quién se debe la traducción de noventa y dos obras completas al latín, incluyendo las de Alhacén.

Es en el siglo XI cuando finaliza el período de las traducciones y hay poco en lo que se refiere a la ampliación de conocimientos. Sin embargo, la física había adquirido un carácter experimental, abandonando su carácter contemplativo proveniente de los griegos. Los instrumentos ópticos cobran importancia, aunque no son usados aún con propósitos astronómicos.

En 787 Carlomagno estimula la instrucción, decretando que toda abadía debía fundar una escuela, encargando a Fray Pedro de Pisa y Fray Alcuino de York dicha tarea; desplazando así los conocimientos de oriente hacia occidente.

Es el siglo XIII cuando surgen las grandes universidades medievales (ibid). Se fundan los órdenes de franciscanos (1202) y dominicos (1215), quienes influyen en el progreso científico. Los franciscanos aportaron personajes que ocuparon no solamente elevadas dignidades eclesiales, sino que a la vez participaron activamente en el desarrollo científico: Robert Grosseteste (1175-1253) canciller de la Universidad de Oxford y obispo de Lincoln, realizó experimentos con espejos; otro tanto hizo John de Peckham (1220-92); ambos escribieron sobre problemas ópticos como los tratados por Alhacén; Roger Bacon (1214-94) comprendió las leyes de la reflexión y la refracción de la luz, explicando cómo se pueden acomodar las lentes para servir de anteojos y telescopios, sin existir ningún antecedente de construcción de alguno. El acopio en grandes bibliotecas de las obras del pensamiento antiguo y los trabajos de copiado que hicieron los frailes es obra cumbre de la civilización en Occidente.

Paralelo al estudio de la óptica, se llevan a cabo estudios respecto al ojo como principal órgano de la visión; estos estudios provienen también de épocas remotas y se tiene conocimiento de

importantes descubrimientos anatómicos respecto al ojo, sus enfermedades y formas de curación de las mismas.

Hipócrates, físico y maestro de la Grecia antigua, escribió gran variedad de tratados sobre medicina, y textos técnicos de física; colección reunida en el siglo III o II a.C., encontrada en la biblioteca de Alejandría. En dicha colección, se separó por primera vez en la historia la medicina de la magia, la religión y la superstición. Gracias a ella conocemos las referencias hipocráticas respecto al ojo y sus enfermedades, aunque a causa de las costumbres griegas de no diseccionar sistemáticamente los cadáveres, los conocimientos sobre la anatomía ocular eran sólo superficiales.

El ojo estaba protegido por tres capas, una externa gruesa, una delgada media y una interna más delgada; la pupila y la córnea se consideraban estructuras especiales, no se diferenciaron; la literatura hipocrática tampoco contiene descripciones del aparato lagrimal (PEARLMAN: 1969, pp 1069 a 1076).

En el Tercer Libro de Aforismos de Hipócrates, podemos ver la descripción de los cambios que ocurren en un hombre de edad avanzada en lo que se refiere a la visión. Aunque en estos escritos de Hipócrates no aparecen datos que añadan información a la oftalmología, ya que pone más atención a las porciones externas y a la apariencia del ojo.

En la enciclopedia *De Re Medicinae* de Aurelio Cornelio Celsus, en su sección de oftalmología, encontramos el primer tratado completo en la literatura médica occidental sobre patología ocular. Este tratado puede considerarse como un resumen de los conocimientos sobre el cristalino en el mundo mediterráneo, de la época de Alejandro el Grande y Augusto, un período de aproximadamente 30 años.

La sección médica está formada de ocho libros con registros descriptivos de enfermedades y su tratamiento. A pesar de esto, por razones desconocidas, este libro no fue popular en su tiempo, ni entre los estudiantes de la Edad Media. Fue hasta 1443, cuando encontró una copia en la Iglesia en Milán. El papa Nicolás V, pontífice reinante, fue invitado a leerlo, debido a su precisa prosa en latín. Más tarde este libro se hizo popular, siendo una de las primeras publicaciones médicas en latín. En su descripción anatómica del ojo, Celsus dibuja sobre los trabajos de los anatomistas helénicos de Alejandría (SNYDER: 1964, pp. 144 a 146).

La historia de la medicina tiene en Ibn al-Nafis una nueva aportación que impacta a Europa; descubre el hecho de la circulación menor y traduce su estudio al latín. Esta contribución ayuda a la comprensión del sistema circulatorio, mientras que Averroes contribuye a la fisiología óptica realizando descubrimientos respecto a la función fotorreceptora de la retina; sin embargo, su descubrimiento no fue conocido, y no fue utilizado por los europeos sino por 1225. Comentarios aparecidos en artículos elaborados por Fukala indican que la oftalmología árabe trató de introducir ideas significativas.

Averroes considera tres humores y siete cubiertas en el ojo. Anotó como principal órgano del ojo a la lente, mostrando que el esquema de nutrición ocular soportan la primacía de la lente o la zonula o ambas. Emplea el término retina, como contenedor de los vasos sanguíneos y poseedor del "espíritu visual". Discutió la existencia de tres regiones de la visión, marcando analogías entre el paso de la luz del aire a un cuerpo de agua con el paso de la forma visual de la atmósfera dentro del fluido del cuerpo del ojo. Llevándose a cabo un cambio de una forma corporal a una espiritual. Los rayos rectos son llevados por el "espíritu visual" y percibidos al llegar por modos diferentes al quiasma. En donde se fusionan los dos nervios ópticos, el llamado *sensus communis*, la información visual pasa a la imaginación.

Averroes discutió el papel de la lente y/o la zonula, indicando que las imágenes se forman aquí por la recepción y transmisión por el espíritu visual. Explicó la ubicación de la lente en la parte media del ojo. Fue el primero en reconocer a la retina como la parte sensorial del ojo. Estableció que en la visión como en cualquier otro órgano de los sentidos solamente se reciben las impresiones exteriores. A él se debe la teoría de que el ojo emite "espíritus visuales", teoría muy popular hasta el período moderno.

Es mérito de los árabes como Ibn al-Haytham (Alhazén) y Averroes haber aclarado lo que Aristóteles dijo en su tiempo, que la visión es completa sin ninguna emisión del ojo. Alhazén fue el primero en estudiar la estructura del ojo en relación a la refracción de la luz; en este sentido, la óptica fisiológica se puede decir que fue establecida por él. Averroes, por otro lado, continúa con las ideas anteriores en relación a la refracción cuando explica la visión (SCHULLIAN: 1969, 1972, pp. 77 a 82, 207 a 213).

Durante el siglo XIII se había logrado un equilibrio gracias a la jerarquización de la ciencia y de la escolástica, mismo que se rompe en el siglo XIV con la llegada del Renacimiento. La cronología de finales del siglo XIII y del siglo XIV en Italia muestra los sucesos más importantes de este período histórico.

En esta etapa la Iglesia alcanza su máximo poderío, durante el reinado del papa Inocencio III; se construyen la basílica de San Francisco de Asís y el púlpito en el Baptisterio de Pisa. En pintura se realizan en Asís los frescos sobre la vida de San Francisco, y Giotto pinta en Padua los frescos de la vida de la Virgen y los frescos en la Capilla de Bardí en la Iglesia de la Santa Cruz. Duccio pinta el altar de la Majestad en la catedral de Siena, Andrés Pisano funde las puertas de bronce del Baptisterio de Florencia y junto con Giotto edifican la Campanile en Florencia; Traini pinta en el Campo Santo de Pisa el Triunfo de la Muerte.



Con respecto a las ideas que se enmarcan en la época en Italia, son muy controvertidas, lo que se refleja en el cisma de la Iglesia, las luchas sociales entre los aristócratas dueños de la tierra y el pueblo, y en las expresiones tanto pictóricas como literarias. Surge el naturalismo en la pintura, y entra en auge el humanitarismo, diferente al planteado por los franciscanos del siglo XV y al humanismo del Renacimiento subsiguiente.

En las manifestaciones artísticas del siglo XIV se observa un renovado interés por la Antigüedad clásica, incrementándose la curiosidad por buscar las fuentes de autores griegos y romanos diferentes a los aprobados por la Iglesia. Esta etapa plagada de ideas contrarias que formaban un puente entre el pasado y el futuro, es llamada período posgótico, protorrenacentista o prerrenacentista, de acuerdo con Fleming en su libro *Arte, música e ideas* (FLEMING:1989, pp. 144 a 213).

Durante el siglo XV se manifiesta un auge en las artes en Florencia, es en esta etapa histórica cuando Ghiberti trabaja en las puertas del norte del Baptisterio, Brunelleschi comienza la capilla Pazzi, el palacio Médicis-Riccardi es construido por Michelozzo, se imprimen las traducciones de los Diálogos de Platón y el tratado de Alberti sobre Arquitectura, Pintura y Escultura, Savonarola predica la reforma moral, se funda la imprenta Aldina en Venecia, comenzando a publicarse obras de Platón y Aristóteles.

De acuerdo con Fleming, " el Renacimiento significa un despertar de la conciencia hacia los valores de las antiguas artes y letras clásicas después de la larga noche medieval" (ibid). Pero en realidad lo que parece haber ocurrido es una maduración de las ideas del período gótico. Sin embargo, en el siglo XV Florencia tuvo un gran impulso en cuanto a ideas.

El naturalismo que surge en el arte gótico, toma fuerza en el siglo XV florentino pero orientado de forma científica, por observación cuidadosa de los fenómenos naturales, disección de cadáveres y el estudio de la matemática aplicada a la perspectiva; y dando al concepto de espacio un nuevo significado.

En Roma, a finales del siglo XV, gracias a la intervención del papa Julio II, quién reunió en su corte gran cantidad de artistas excelentes, surge la sede pontificia como centro artístico; gracias al exilio de los Médicis de Florencia. A finales de este siglo y comienzos del XVI en Roma se alcanza la cumbre del humanismo y el arte del Renacimiento, lo que se refleja en la construcción de la Capilla Sixtina, los trabajos escultóricos de Miguel Ángel (*La piedad, Baco, la tumba de Julio II y la de los Médicis*), Bramante comienza a construir la nueva Basílica de San Pedro; Miguel Ángel pinta la bóveda de la Capilla Sixtina, el Juicio Final, y los frescos de la capilla Paulina, y es nombrado arquitecto de San Pedro; y Rafael pinta los frescos del Palacio Vaticano; Leonardo Da Vinci se encuentra también en Roma; se inicia la reforma protestante de Martín Lutero; la iglesia anglicana se separa de Roma, Vasari publica *Vida de los más eminentes pintores, escultores y arquitectos*; y muere Miguel Ángel, en Roma, en 1564.

Este período se caracteriza por una readopción de la cultura grecolatina antigua retomando las ideas filosóficas de Aristóteles y Platón, y buscando aplicarlas a las prácticas cristiana, tratando sobre todo de redescubrir al hombre y al mundo. Posterior al Renacimiento, comenzando el siglo XVI en Venecia, se presenta el inicio del Barroco pero con continuidad del Renacimiento, etapa de encrucijada para las artes bajo la sombra de los grandes maestros activos en esos tiempos.

## CAPITULO II.

### **MANUSCRITOS DE LEONARDO DA VINCI EN RELACIÓN CON LA ÓPTICA. ( SE REPRODUCEN SUS FIGURAS POR COMPUTADORA).**

El Renacimiento en la ciencia aprovecha el acceso a los escritos científicos de los griegos, pero apartándose de los métodos científicos de éstos. Todo era favorable a un período de actividad científica, que se convertirá en torrente arrollador en el siglo XVII.

De todo esto surge la ciencia moderna en los años 1452 a 1600 ( JEANS: 1986, pp. 145 a 183). La revolución artística en Europa se dio paralelamente a la científica, la escolástica pasa a segundo término, dando paso al estudio experimental de la naturaleza, provocando un desarrollo tanto teórico como experimental de la óptica. La primera figura del Renacimiento, Leonardo Da Vinci, formula teorías sobre la visión comparando el ojo con la cámara oscura.

El Renacimiento científico ocurre en forma gradual pero se puede fijar el año de 1452 como el de su surgimiento, porque en este año nace Leonardo Da Vinci, considerado como el primer científico que ordena las ideas de la Edad Media y quien intenta el estudio de la naturaleza con espíritu moderno. Con él la ciencia adopta objetivos y métodos modernos.

Leonardo Da Vinci (1452-1519) nace cerca de Empoli, en la carretera de Florencia a Pisa. Realizó algunos trabajos experimentales de género práctico en el campo de la óptica. En esta rama científica, consideraba la luz como un fenómeno ondulatorio, con lo que, si bien ya lo habían expresado otros autores anteriormente, se anticipó a su tiempo con esta teoría.

Estaba de acuerdo con Aristóteles al insistir en que sólo el razonamiento matemático puede dar certeza total en un estudio científico. "Una ciencia - decía Leonardo- debería basarse en observaciones; examinar dichas observaciones mediante la matemática y terminar con un experimento concluyente". Sus puntos de vista generales en relación al método científico eran muy parecidos al los de Roger Bacon.

En 1583, la *Ophthalmologie, Das Ist Lugendienst* escrita por George Bartisch, considerado como el padre de la oftalmología moderna, hace un renacimiento en el estudio del ojo. Hasta fines del siglo XVI prevalecían las ideas de Galeno que afirmaba que el principal órgano en la visión era la lente cristalino, pero estas teorías fueron superadas por los estudios en el aspecto anatómico realizado por Franciscus Maurolycus (1494-1577) considerado como un segundo Arquímedes.

Para lo que sigue de este segundo capítulo, se tomamos un libro básico de Da Vinci para obtener la mayor cantidad de reproducciones de sus manuscritos, así como la mejor calidad de impresión de las mismas que nos permitieran su uso en un scanner de computadora para poder obtener copias suficientemente claras de dichas reproducciones. El libro utilizado para ello se titula **Leonardo Da Vinci**, contiene 1635 ilustraciones y 12 reproducciones en color; así como 16 páginas adicionales de material nuevo encontrado en Madrid; incluye 26 ilustraciones que nunca se habían reproducido antes. El volumen originalmente se encontraba en inglés, por lo que fue necesario traducirlo para extraer la información requerida. Este libro es el trabajo más completo y autorizado sobre Leonardo, originalmente publicado en Italia por el Instituto Geográfico Agostini antes de la guerra, en conjunto con la famosa exhibición de los trabajos de Da Vinci en Milán en 1938. Emil Volmer, un editor alemán, junto con el Instituto creditó el volumen, haciendo nuevas ilustraciones con las que se imprimió la más reciente edición.

La traducción al inglés se hizo por un grupo de expertos y fue editada por Reynal & Co. inc. Leonardo ha sido el hombre más genial del Renacimiento italiano, y quizá el más versátil, por lo que para editar un libro como el que se utilizó aquí, fue necesario analizar cuidadosamente cada fase de las muchas actividades realizadas por Da Vinci, para contribuir a la elaboración de cada sección, ya que cada una trata de un campo de la actividad humana diferente, muchas de ellas desconocidas, pero útiles para el Renacimiento del hombre, por lo que este trabajo es un tributo al pensamiento universal. El libro muestra a Leonardo no solo como el artista, sino como arquitecto, escultor, inventor de máquinas, el adivino de las leyes naturales, el biólogo, el ingeniero hidráulico y el precursor en el dominio del vuelo. Los autores de cada sección trabajaron en la elaboración del documento para mostrar la penetración de Leonardo dentro de los más variados campos del conocimiento humano.

En este capítulo solamente se consultó la recopilación correspondiente al tema de óptica, realizada por Domenico Argentieri, quien analiza cada uno de los códices donde se encuentran los manuscritos originales de Da Vinci relativos a la óptica, junto con figuras que representan los dibujos y diseños realizados por Leonardo en lo que respecta a este tema. Como ya se mencionó antes, las reproducciones que se presentan en este trabajo se obtuvieron por medio de un scanner y una computadora 486, archivando cada una en una cinta magnética para tener acceso a ella y reproducirla. En seguida se muestra una relación de las figuras con el número que se le asigna en el trabajo, junto con la clave que le corresponde y el código en el que se encuentran en el original:

No. de figura	Clave y código.
Figura 1	Código Forst., III, folio 76 r.
Figura 2	Manuscrito C folio 16 v.
Figura 3	Manuscrito A folio 61 r.

Figura 4	Manuscrito A folio 9 v.
Figura 5	Manuscrito C, folio 10 r.
Figura 6	Manuscrito C, folio 4 v.
Figura 7	Manuscrito C, folio 3 r.
Figura 8	Manuscrito C, folio 12 r.
Figura 9	Manuscrito I, folio 87 r.
Figura 10	Código Atlanticus, folio 256 r-c.
Figura 11	Colección real No. 19149 v.
Figura 12	Código Atlanticus, folio 138 v-b.
Figura 13	Colección real No. 12635 v.
Figura 14	Código Arundel, folio 70 r.
Figura 15	Código Arundel, folio 20 v.
Figura 16	Código Arundel, folio 70 v.
Figura 17	Código Atlanticus, folio 181 r-a.
Figura 18	Colección real No. 19149 r.
Figura 19	Código Atlanticus, folio 32 r-a.
Figura 20	Código Atlanticus, folio 150 r-a.
Figura 21	Manuscrito F, folio 33 v.
Figura 22	Código Atlanticus, folio 187 r.
Figura 23	Colección real, No. 19149 r.
Figura 24	Manuscrito C, folio 4 v.
Figura 25	Código Arundel, folio 73 r.
Figura 26	Colección real, No. 12351.
Figura 27	Manuscrito C, folio 22 r.
Figura 28	Manuscrito C, folio 13 v.
Figura 29	Manuscrito A, folio 55 r.
Figura 30	Manuscrito C, folio 14 r.

Figura 31	Código Atlanticus folio 10 r-a.
Figura 32	Código Arundel, folio 87 r.
Figura 33	Código Atlanticus, folio 248 v-a.
Figura 34	Manuscrito C, folio 8 r.
Figura 35	Colección real, No. 12587.
Figura 36	Código Arundel, folio 88 r.
Figura 37	Código Atlanticus, folio 88 r-b.
Figura 38	Manuscrito F, folio 25 r.
Figura 39	Código Arundel, folio 85 r.
Figura 40	Código Atlanticus, folio 190 r-a.
Figura 41	Código Arundel, folio 84 v.
Figura 42	Código Arundel, folio 73 r.
Figura 43	Código Atlanticus, folio 88 v-b.
Figura 44	Código Arundel, folio 85 v.
Figura 45	Código Atlanticus, folio 83 v-b.
Figura 47	Código Arundel, folio 87 v.
Figura 47	Código Arundel, folio 87 v.
Figura 48	Código Atlanticus, folio 32 r-a.
Figura 49	Manuscrito A, folio 12 v.
Figura 50	Código Atlanticus, folio 86 r.
Figura 51	Real Biblioteca de Turín.
Figura 52	Colección real No. 19059 r.
Figura 53	Código Atlanticus, folio 337 r-a.
Figura 54	Manuscrito D, folio 3v.
Figura 55	Código Atlanticus, folio 337 r-a.
Figura 56	Manuscrito D, folio 2 v y 3 v.
Figura 57	Manuscrito D, folio 8r.

Figura 58	Manuscrito K, folio 118 v y C. Atl. folio 222 r-n.
Figura 59	Manuscrito D, folio 8 v.
Figura 60	Códice Atlanticus, folio 244 ra.
Figura 61	Manuscrito K, folio 127 v y 127 r.
Figura 62	Manuscrito K, folio 126 r.
Figura 63	Cuaderno anatómico V, folio 8 r.
Figura 64	Manuscrito D, folio 2 v.
Figura 65	Manuscrito K, folio 120 r.
Figura 66	Manuscrito C, folio 6 r.
Figura 67	Cuaderno anatómico V, folio 6 v.
Figura 68	Manuscrito A, folio 1 v.
Figura 69	Cuaderno anatómico IV, folio 12 v.
Figura 70	Concepción griega del ojo.
Figura 71	Esquema del ojo por Andreas Vesalius.
Figura 72	Esquema estructural actual del ojo.

Analizando los manuscritos de Leonardo Da Vinci en relación con la óptica, podemos observar que cada uno de ellos es una lección que ayuda a los estudios subsecuentes. (ARGENTIERI: 1956, pp. 405 a 436). La primera figura muestra la teoría ondulatoria de la luz, en donde se pone de manifiesto la transmisión de la misma en ondas transversales, de acuerdo con las observaciones realizadas por Leonardo en el movimiento del agua cuando se lanza a ella un objeto. "Los círculos de agua no se cortan cuando se intersectan", escribió Leonardo en la parte inferior de su dibujo.

A estudios de la luz y la sombra corresponde la reproducción de la figura 2 (Manuscrito C folio 16 v), en donde empleando una fuente de luz primaria y una que proviene de una fuente derivada o reflejada analiza lo que ocurre en los fenómenos luminosos. "... en los escritos de Da



Vinci, se encuentra un argumento que acostumbramos a considerar como propio de una exposición científica moderna, pero los grandes descubrimientos de Leonardo, uno de los más grandes en toda la historia de la ciencia, yace en el salto que damos del agua a la luz".

La figura 3 corresponde al: "... manuscrito A en el Instituto de Francia, folio 61 r". Tiene un dibujo fino en el que la teoría de las ondas transversales es explicada en un lenguaje que combina la precisión científica y la claridad de exposición." (ARGENTIERI: op. cit.)

Leonardo escribe: "Si dos piedrecillas son lanzadas al mismo tiempo en una superficie de agua tranquila a la misma distancia una de otra, se observará que alrededor de las dos perturbaciones se formaron numerosos círculos separados, se encontrará que se incrementan en tamaño y luego penetran e intersectan uno al otro, todos mantienen sus centros respectivos en el lugar donde la piedra golpeó. La razón de esto es que el agua, aunque moviéndose en apariencia, no abandona su posición original, porque la abertura hecha por la piedra cierra inmediatamente. Quizá el movimiento producido por la rápida abertura y cierre del agua ha acusado solo un choque el cual puede ser descrito como la vibración de uno y otro sin cambio de posición".

Esta figura número 4, reproduce el dibujo de Leonardo donde establece la teoría de la luz y pertenece al Manuscrito A, folio 9v. "Como una piedra lanzada en el agua parece el centro y causa de los varios círculos, el sonido se extiende en círculos en el aire. De este modo cada cuerpo colocado en el luminoso aire se extiende en círculos y llena los espacios que lo rodean con semejanza infinito de sí mismo y aparece todo en todo en cada parte". Esto anota Leonardo en el Codex Atlanticus, folio 9v.

Aunque el método científico es posterior a Da Vinci, se ve que ya lo aplica como metodología propia, iniciando su análisis en las perturbaciones producidas en el agua, para posteriormente generalizarlo a otros movimientos ondulatorios como el sonido y la luz, anticipándose en esto a las teorías emitidas por Huygens y Fresnel, nada menos que tres siglos después.

El bello dibujo que corresponde a la figura 5, es la representación del estudio sobre la relación entre cuerpos luminosos y las sombras de los objetos iluminados (Manuscrito C, folio 10 r).

Dos siglos después de Leonardo, Huygens pretendió explicar la propagación de la luz, diciendo que la propagación no se debe a transporte de partículas. "La propagación no consiste en el transporte de esas partículas sino solamente de un pequeño choque..." (ibíd)

Este dibujo de la figura 6, (Manuscrito C, folio 4v), realizado por Da Vinci, nos muestra la relación entre la luz y la sombra en relación con los rayos de luz y la sombra del objeto iluminado. "... cualquier fuerza (energía) es gobernada por movimientos armónicos. Proporción es armonía", anota.

La ilustración de la figura 7, (Manuscrito C, folio 3r), representa un esquema de la relación entre el campo luminoso y el brillo del cuerpo iluminado. Estos esquemas podrían mostrarnos con su exactitud científica y su belleza plástica, una sencilla explicación del efecto producido por los cuerpos opacos al intercalarse frente a una fuente luminosa, el cómo ocurren los eclipses.

El dibujo de la figura 8 típico de Leonardo, nos muestra su carácter, sus observaciones respecto a las sombras en relación a las superficies de objetos iluminados, (Manuscrito C, folio 12 r).

"Miro la luz y considero su belleza. Cierro y abro los ojos y luego la miro: que veo de ella, no fue antes, y que hubo de ella, no es más", escribe en forma poética Leonardo en el Manuscrito F, folio 49 v.

En la figura 9 se observa la demostración del movimiento ondulatorio y la propagación producida al dejar caer una piedra en el agua, (Manuscrito I, folio 87 r).

"No hay efecto en la naturaleza sin una razón, entendiendo la razón, no es necesario experimentar". Escrito de Leonardo localizado en el Codex Atlanticus, folio 147 v-a.

Cuando se ha descubierto y entendido la causa, el observar experimentalmente no es indispensable. En este caso la causa es la naturaleza ondulatoria de la luz, y el efecto la velocidad finita de ésta.

En el dibujo de la figura 10 se establece el principio universal de la radiación, que permite pasar del lenguaje de la óptica ondulatoria al de la óptica geométrica, (Codex Atlanticus, folio 256 r-c). Este esquema recuerda los actuales que son empleados en el estudio de lentes y espejos aplicando la geometría en la óptica para simplificar y esquematizar sus efectos.

En la colección Real No. 19149v, en el Castillo de Windsor, se encuentra este dibujo de Da Vinci (figura 11), en donde usando dos fuentes de luz observó los efectos respecto a la luz y la sombra sobre un cuerpo iluminado. También en este manuscrito se pueden observar algunos bocetos de figuras en movimiento, como en todos sus manuscritos, Leonardo descubre su espíritu inquieto e investigador.

En la reproducción que corresponde a la figura 12, se observa el establecimiento del principio de radiación visible establecido en los últimos párrafos, (Codex Atlanticus, folio 138 v-b). "Es imposible que el ojo proyecte "poder visual" en sí mismo, por rayos visuales...". Para él, existían las especies, pero les daba el nombre de "poder visual", diciendo que son propagadas por ondas. Si se consideran estas especies como semejantes a los actuales fotones, se puede decir que Leonardo se anticipó a la actual mecánica ondulatoria.

La figura 13, corresponde a una reproducción digitalizada por computadora (como todas las mostradas en éste capítulo) que se encuentra en la colección real No. 12635 v, del Castillo de Windsor, a la que también pertenece el dibujo que registra las mediciones de la razón de intensidad usando dos fuentes de luz.

En el Códice Arundel, folio 70 r, se encuentran estos dibujos de Leonardo Da Vinci en la que se trata de resolver el problema planteado por Alhazén (figura 14).

Contemplando la figura 15 (Códice Arundel, folio 20 v) vemos este dibujo de Da Vinci donde completa la información del problema de Alhazén.

En el dibujo que corresponde a la figura 16 (Códice Arundel, folio 70v), al igual que los dos anteriores, se refiere al problema de Alhazén. Mientras que la figura 17 es una reproducción del manuscrito de Da Vinci que muestra el diseño de un instrumento para resolver dicho problema (Códice Atlanticus, folio 181 r-a).

Antes que Newton, Da Vinci observó la descomposición de la luz en sus colores básicos y reconstruyó el espectro solar sobre una pantalla. El manuscrito corresponde a la colección real en el Castillo de Windsor, No. 19149 r es el de la figura 18. En la figura 19, se observa el esquema que corresponde a una sección cónica, herramienta usada para generar espejos parabólicos (Códice Atlántico, folio 32 r-a).

Los estudios realizados por Leonardo Da Vinci en relación a las leyes de la refracción, se pueden observar muy claramente en estos esquemas de la figura 20, que pertenecen al Códice Atlántico, folio 150 r-a. En la figura 21, también podemos apreciar los estudios de las leyes de la refracción, pero en este caso corresponden al Manuscrito F, folio 33 v. Del mismo Códice Atlanticus, pero

del folio 187 r, son las reproducciones que representan los estudios sobre las gradaciones de luz y sombra, que Da Vinci realizó. (figura 22).

También de la Colección Real del Castillo de Windsor No. 19149 r, es la figura 23, que representa un estudio realizado por Da Vinci en el que se usan varias fuentes de luz, y se analiza el efecto que causan en la luz y sombra. Completando sus análisis sobre la luz, la figura 24 es un estudio esquemático para un fotómetro esférico (Manuscrito C, folio 4v). Del Códice Arundel, folio 73 r, es la figura 25, nos hace apreciar el estudio que sobre cientina para pulir espejos parabólicos realizó Da Vinci.

El estudio sobre problemas de variaciones de la intensidad de luz como una función de la distancia (figura 26) se encuentran en la colección Real del Castillo de Windsor, No. 12351. El Manuscrito C, folio 22 r, nos muestra los estudios realizados por Leonardo que condujeron a la fundación de la fotometría, mucho antes que Bouguer (ver figura 27). Los estudios que sobre experimentos con la luz y la sombra realizó Leonardo Da Vinci, se muestran en los esquemas de la figura 28 y se encuentran en el Manuscrito C, folio 13 v. Así mismo los estudios sobre fotometría y lápices de luz de la figura 29, se localizan en el Manuscrito A, folio 55 r.

Leonardo subdividió la penumbra en un número infinito de gradaciones, representada en esta reproducción del Manuscrito C, folio 14 r (figura 30). Dentro de la variada serie de aparatos diseñados por Leonardo Da Vinci, encontramos el proyector de la figura 31, cuyo esquema se puede ver en el Códice Atlanticus folio 10 r-a. Continuando con el análisis de la reflexión de la luz en espejos cóncavos, la figura 32, nos muestra una reproducción de estos estudios que se encuentra en el Códice Arundel, folio 87 r.

La figura 33 nos reproduce el patrón de los rayos de luz en un espejo parabólico, (Códice Atlanticus, folio 248 v-a). En otra reproducción del manuscrito de Leonardo, se puede observar la

medida de la intensidad de los rayos de luz y la deformación de las sombras (figura 34, según Manuscrito C, folio 8 r). La figura 35 nos representa los estudios que sobre la reflexión en espejos planos realizó Da Vinci, que se encuentran en la Colección Real del Castillo de Windsor, No. 12587. Para completar los estudios sobre reflexión, en la figura 36 podemos apreciar cómo muestra éste fenómeno de la luz solar en espejos, (Código Arundel, folio 88 r).

La cáustica de los espejos también llamó la atención de este hombre genial. La figura 37 nos muestra los estudios que realizó a este respecto (corresponde al Código Atlanticus, folio 88 r-b). Sus inquietudes de inventor se ven plasmadas en la figura 38, en donde vemos una reproducción de la descripción de un diagrama de Telescopio, (Manuscrito F, folio 25 r). La figura corresponde a los estudios de Leonardo de las zonas paraxiales de espejos cóncavos (Código Arundel, folio 85 r). En la parte superior de la figura 40 se aprecia una nota de Da Vinci, que dice: "Vidrios fabricados para ver la luna ampliada" (Código Atlanticus, folio 190 r-a).

El estudio sobre la divergencia de rayos incidiendo sobre un espejo lo observamos en la figura 41 (reproducción del Código Arundel, folio 84 v). El esquema de la figura 42, corresponde también a un estudio sobre la divergencia de rayos incidiendo sobre un espejo (tomados del Código Arundel, folio 73 r). La figura 43 es un estudio sobre incidencia y reflexión de rayos sobre espejos, (Código Atlanticus, folio 88). Otro estudio sobre rayos incidentes y reflejados en espejos se aprecia en la figura 44, que corresponde al Código Arundel, folio 85 v.

La figura 45, reproducción del original de Leonardo Da Vinci, cuyo título es "método de construcción de lentes para ancianos", ilustra la amplitud de los estudios que sobre óptica realizó, (Código Atlanticus, folio 83 v-b). Para probar la cualidad de espejos, Leonardo aisló rayos de luz cubriendo la superficie de espejos con blanco de plomo, luego lo removió parcialmente, anticipándose con esto al método Hartmann, (figura 46, tomada del Código Arundel, folio 87 v).

El esquema de la figura 47 representa la reflexión de rayos en espejos, pero en este caso proviene del Códice Arundel, folio 87 v. La figura 48 es una representación que corresponde a una máquina para hacer espejos cóncavos, diseñada por Da Vinci, es muy interesante y se encuentra en el Códice Atlanticus, folio 32 r-a. Otra reproducción, (figura 49, del Manuscrito A, folio 12 v), nos muestra un telescopio sin pieza ocular; mientras que la figura 50 es reproducción de un esquema de espejo en forma de medio anillo, plano y pulido por dentro, excepto por unos pequeños agujeros, para ver el sol, (Códice Atlanticus, folio 86 r).

En relación con los estudios sobre la luz, realizó Leonardo Da Vinci, (figura 51) también estudios de las proporciones de la cara y el ojo, dentro de sus manuscritos sobre éstos órganos y como principal conexión con la luz y la percepción, se encuentran estos esquemas de la Real Biblioteca de Turín. La figura 52 es una reproducción de los dibujos de las cavidades orbitales, indicando la ubicación de los ojos, que como sabemos es bastante precisa. Fueron realizadas a partir de las disecciones que Da Vinci hacía de cadáveres, (manuscritos de la Colección Real de Windsor, No. 19059 r). Otro esquema de Leonardo que corresponde a los ojos se puede ver en la figura 53, reproducción del Códice Atlanticus, folio 337 r-a. El modelo de ojo construido por Leonardo que vemos en la figura 54, fue tomado del Manuscrito D, folio 3 v.

La figura 55 nos muestra los dibujos de Da Vinci en relación a vidrios esféricos, usados como lentes, colocados frente a la apertura de la cámara oscura, muestra el primer uso de lentes en esta posición, acreditado previamente a Daniel Bárbaro de Venecia, (Códice Atlanticus, folio 337 r-a).

En la figura 56, se ilustra el sistema de las esferas vítreas de Leonardo Da Vinci, detallado en el Manuscrito D, folios 2v y 3 v. Leonardo Da Vinci, fue el primero que comparó el ojo con la cámara oscura, como se ve en la figura 57 (Manuscrito D, folio 8 r); en la figura 58 apreciamos un modelo de córnea realizada en vidrio, reproducción tomada del Manuscrito K, folio 118 v.

Muy interesante es lo que muestra la figura 59, donde se representa un esquema de la percepción del ojo, analiza su enorme campo visual, (Manuscrito D, folio 8 v). La figura 60 nos muestra el esquema que representa los anteojos para ancianos mencionados por Leonardo en sus estudios (Código Atlánticus, folio 244 ra). En la figura 61 apreciamos dos figuras, que nos muestran la descripción de los experimentos de Scheiner sobre el movimiento de cuerpos vistos a través de pequeños orificios en un trozo de papel, realizados por supuesto por Da Vinci y que ya se encuentran en el Manuscrito K, folio 127 v y 127 r. En la figura 62 también se aprecian esquemas que corresponden al experimento de Scheiner, tomados del Manuscrito K, folio 126 r.

Los estudios anatómicos de los ojos demuestran los grandes conocimientos que sobre anatomía de estos órganos tenía Leonardo, (figura 63, tomadas de los manuscritos del Cuaderno Anatómico V, folio 8 r). En la figura 64 se describen los experimentos de Scheiner también y fueron tomados del Manuscrito D, folio 2 v. En esta reproducción (figura 65) del Manuscrito K, folio 120 r, de Leonardo Da Vinci, se pueden apreciar las observaciones realizadas por este genio renacentista, sobre la persistencia de las imágenes sobre la retina. Esta figura 66 reproduce un esquema que muestra el fenómeno de irradiación debida al ojo, tomada del Manuscrito C, folio 6 r.

En el estudio anatómico del ojo que reproduce la figura 67, (Cuaderno Anatómico V, folio 6 v) podemos observar la especial concepción que Leonardo tuvo de la Anatomía del ojo y su relación con el cerebro. Otros estudios muy importantes que sobre óptica se realizaban en la época de Leonardo Da Vinci, son los que se referían a la perspectiva, como se aprecia en la reproducción de la figura 68 que corresponde al Manuscrito A, folio 1 v. Tomada del Cuaderno Anatómico IV, folio 12 v, la figura 69 nos muestra el estudio de la doble imagen realizado por Da Vinci.

Para culminar este capítulo observamos tres figuras que nos muestran el desarrollo de los estudios en relación con el ojo antes del renacimiento y después de esta época tenemos: La figura



70 nos muestra un esquema con la concepción que los griegos tenían en relación con el órgano de la visión, en la que se muestran las membranas (conjuntiva, esclerótica, coroides y la retina); el humor vítreo y el nervio óptico, con una nota que dice: "la luz hacia el cerebro" (FIEGENBAUM: Jerusalén, Israel).

Más adelante en la historia de la oftalmología, encontramos un esquema realizado por Andreas Vesalius (1514 - 1564), para su libro *De Fabrica Corporis Humani*, en donde se ve la concepción que del ojo tenía este genial anatomista posterior a Da Vinci, figura 71. Para finalizar y poder comparar la evolución de los conocimientos hasta la época actual llamamos la atención sobre la figura 72, con la cual se concluye este análisis. Este esquema permite observar la estructura del ojo como se conoce en la actualidad; nos ayuda en el conocimiento en relación no solamente del ojo con la óptica, sino de la percepción con la luz (VARIOS AUTORES; 1993, México).

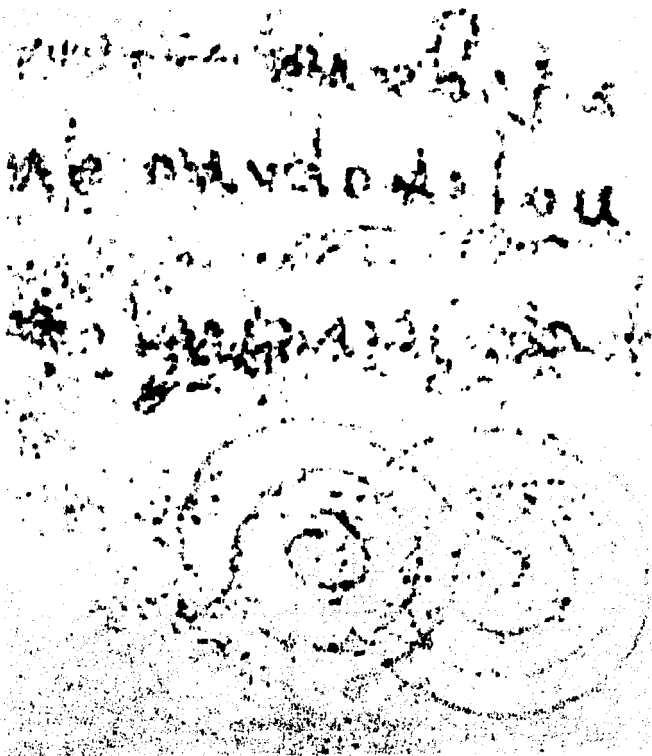


FIG. 1 TEORIA DE ONDAS TRANSVERSALES.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA : Cod. Forst., III, fol. 76 r.

FALLA DE ORIGEN

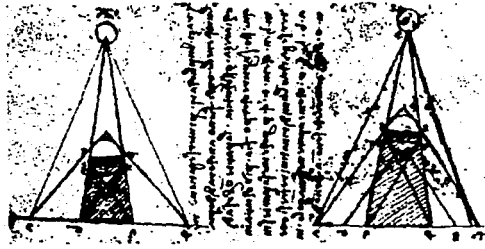


FIG. 2 ESTUDIO LUZ Y SOMBRAS  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA. Ms. C., fol. 16 v.

FALLA DE ORIGEN

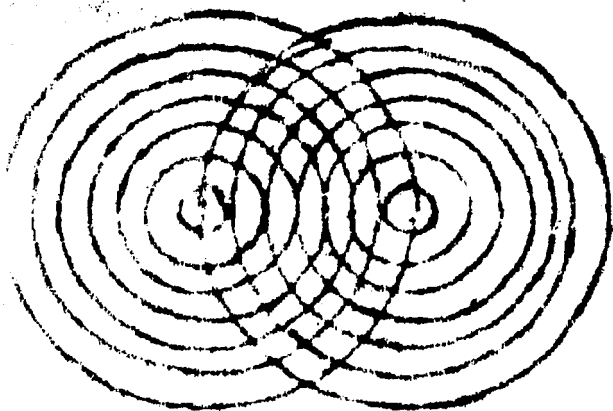
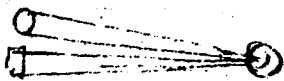


FIG. 3 ONDAS TRANSVERSALES.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. A, fol. 61 r.



Handwritten text in a cursive script, likely a reproduction of a manuscript page. The text is arranged in several lines and is partially obscured by the diagram above it.

FIG. 4 ESTABLECIMIENTO DE LA TEORIA ONDULATORIA DE LA LUZ.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. A, fol. 9 v.

FALLA DE ORIGEN

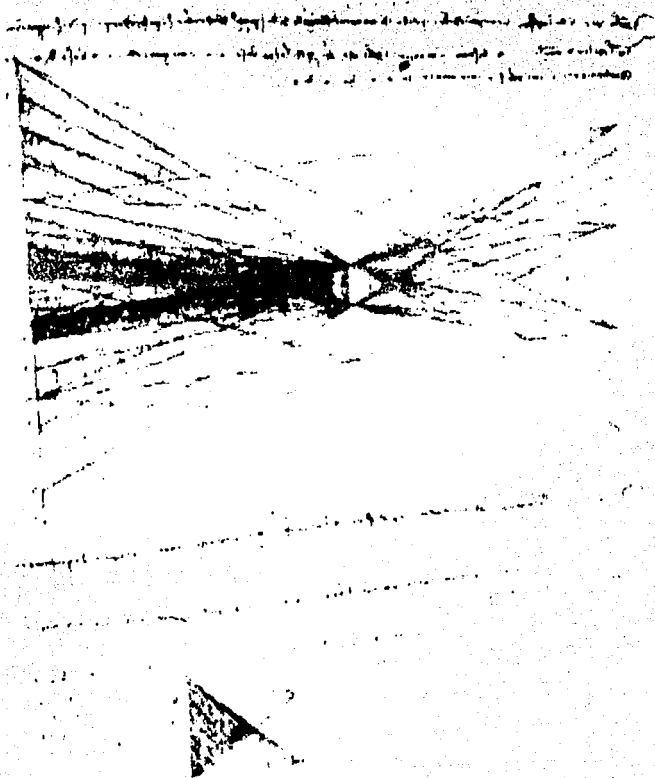


FIG. 5 LUZ Y SOMBRA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 10 r.

FALLA DE ORIGEN

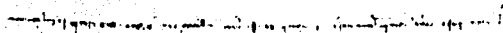
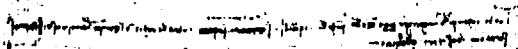
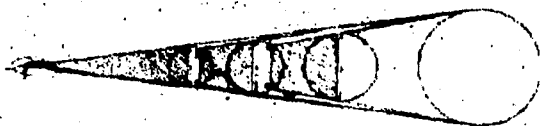
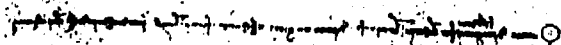


FIG. 6 LUZ Y SOMBRA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 4 v.

FALLA DE ORIGEN

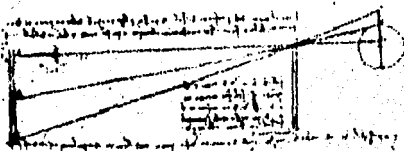
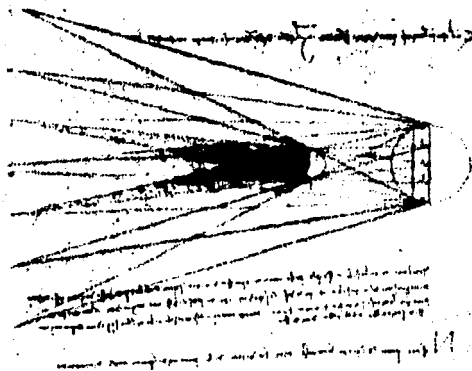


FIG. 7. RELACION ENTRE CAMPO LUMINOSO Y BRILLO DE CUERPOS  
ILUMINADOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 3 r .

FALLA DE ORIGEN



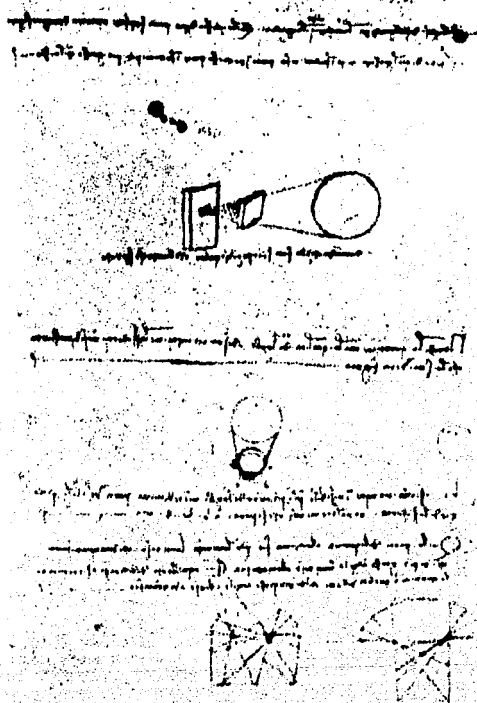


FIG. 8 OBSERVACIONES SOBRE SOMBRAS EN RELACION A LA SUPERFICIE  
ILUMINADA DEL OBJETO.

REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 12 r.

FALLA DE ORIGEN



FIG. 9 DEMOSTRACION DE MOVIMIENTO ONDULATORIO Y PROPAGACION  
PRODUCIDO EN EL AGUA MOVIENDOSE POR LA CAIDA DE UNA PIEDRA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. I, fol. 87 r.

FALLA DE ORIGEN



quod si punctus in parte exteriori sphaerae  
 quida radiatio exiit quae per totam  
 terram in punctum quoddam in parte interiori



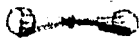
quod si corpus fuerit  
 radiatio non potest esse punctus in parte exteriori  
 tamen per punctum quoddam in parte interiori  
 corpus radiatio exiit in parte exteriori

tamen si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori  
 tamen per punctum quoddam in parte exteriori  
 corpus radiatio exiit in parte interiori

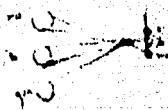
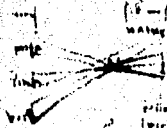


quod si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori  
 tamen per punctum quoddam in parte exteriori  
 corpus radiatio exiit in parte interiori

tamen si punctus fuerit in parte interiori  
 radiatio non potest esse punctus in parte exteriori  
 tamen per punctum quoddam in parte interiori  
 corpus radiatio exiit in parte exteriori



quod si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori  
 tamen per punctum quoddam in parte exteriori  
 corpus radiatio exiit in parte interiori



quod si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori

tamen si punctus fuerit in parte interiori  
 radiatio non potest esse punctus in parte exteriori  
 tamen per punctum quoddam in parte interiori  
 corpus radiatio exiit in parte exteriori

quod si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori

tamen si punctus fuerit in parte interiori  
 radiatio non potest esse punctus in parte exteriori  
 tamen per punctum quoddam in parte interiori  
 corpus radiatio exiit in parte exteriori

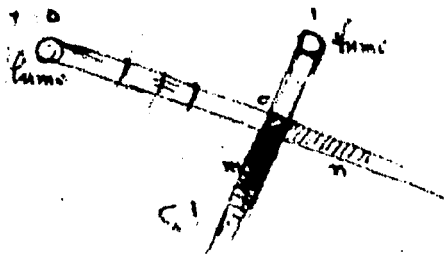
quod si punctus fuerit in parte exteriori  
 radiatio non potest esse punctus in parte interiori

FIG. 10 ESTABLECIMIENTO DEL PRINCIPIO UNIVERSAL DE LA RADIACION.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 256 r - c.

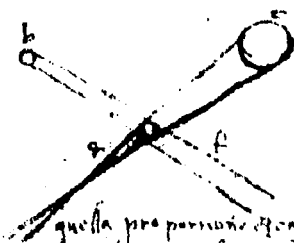
FALLA DE ORIGEN







Quella proporzione era la linea b c  
 colla linea f c tale era la somma  
 m colla effarata n



quella proporzione era la linea b c  
 colla linea f c tale era la somma  
 m colla effarata n

Quella proporzione  
 era la somma di  
 due linee che  
 era a b c d e f g h i  
 p q r s t u v w x y z  
 e colla effarata n

FIG. 13 MEDIDA DE LA RAZON DE INTENSIDAD DE DOS FUENTES DE LUZ.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Colección Real, Windsor no. 12635 v.

FALLA DE ORIGEN

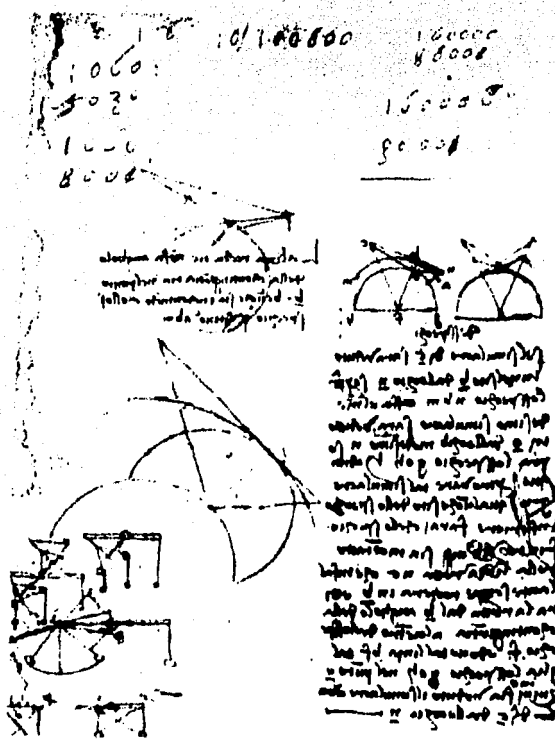


FIG. 14 SOLUCION AL PROBLEMA DE ALHAZEN.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 70 r.

FALLA DE ORIGEN





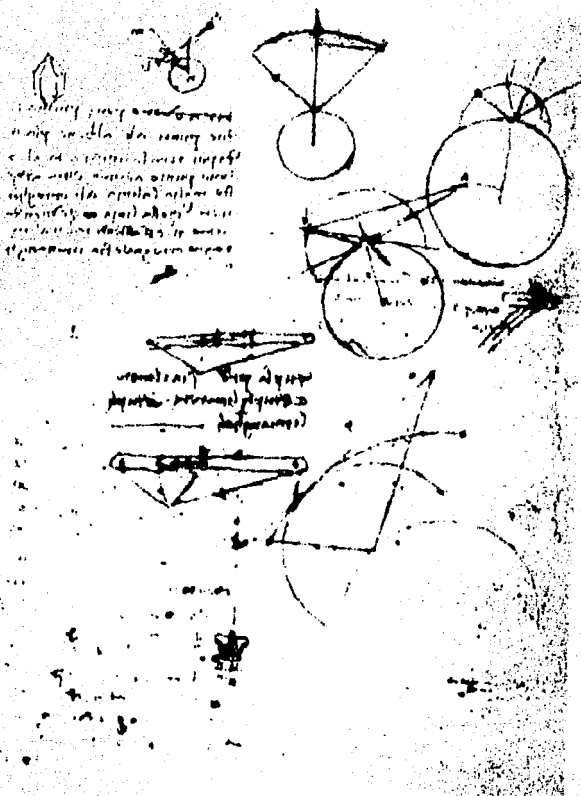


FIG. 16 SOLUCION AL PROBLEMA DE ALHAZEN.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund. , fol. 70 v.

FALLA DE ORIGEN

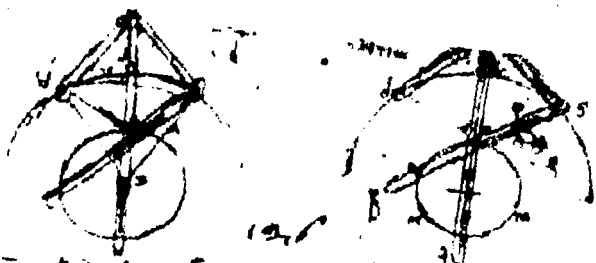


Diagrama de instrumentos para resolver el problema de Alhazen.

Este diagrama muestra dos construcciones geométricas, etiquetadas como 1 y 2, que se utilizan para resolver el problema de Alhazen. Las construcciones consisten en círculos, líneas rectas y puntos etiquetados con letras minúsculas (a-z).

La construcción 1 muestra un círculo con un diámetro vertical. Se traza una línea horizontal que pasa por el centro del círculo. Desde el punto superior del diámetro, se traza una línea que pasa por un punto etiquetado como 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde el punto inferior del diámetro, se traza una línea que pasa por un punto etiquetado como 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'c'. Desde 'c', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'c', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'd'. Desde 'd', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'd', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'e'. Desde 'e', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'e', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'f'. Desde 'f', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'f', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'g'. Desde 'g', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'g', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'h'. Desde 'h', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'h', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'i'. Desde 'i', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'i', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'j'. Desde 'j', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'j', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'k'. Desde 'k', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'k', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'l'. Desde 'l', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'l', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'm'. Desde 'm', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'm', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'n'. Desde 'n', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'n', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'o'. Desde 'o', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'o', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'p'. Desde 'p', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'p', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'q'. Desde 'q', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'q', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'r'. Desde 'r', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'r', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 's'. Desde 's', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 's', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 't'. Desde 't', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 't', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'u'. Desde 'u', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'u', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'v'. Desde 'v', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'v', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'w'. Desde 'w', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'w', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'x'. Desde 'x', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'x', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'y'. Desde 'y', se traza una línea que pasa por el punto 'a' y se prolonga hasta el círculo. Desde 'y', se traza una línea que pasa por el punto 'b' y se prolonga hasta el círculo. Estas líneas se intersectan en un punto etiquetado como 'z'.

FIG. 17. DIAGRAMA DE INSTRUMENTOS PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE ALHAZEN. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. ATI., fol. 181 r-a.



MANUAL DE VANGUARDIA DE INGENIERIA  
A. J. DE VANGUARDIA DE INGENIERIA

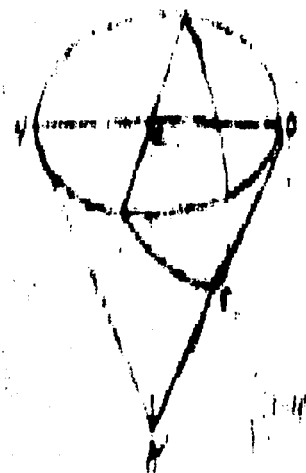


FIG. 19 SECCION CONICA PARA OBTENER HERRAMIENTA PARA  
FABRICAR ESPEJOS PARABOLICOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod., Atl., fo. 32 r-a.

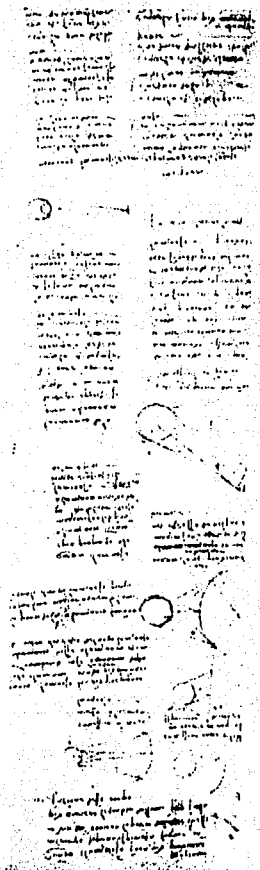


FIG. 20 ESTUDIO SOBRE LAS LEYES DE LA REFRACCION.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 150 r-a.

FALLA DE ORIGEN



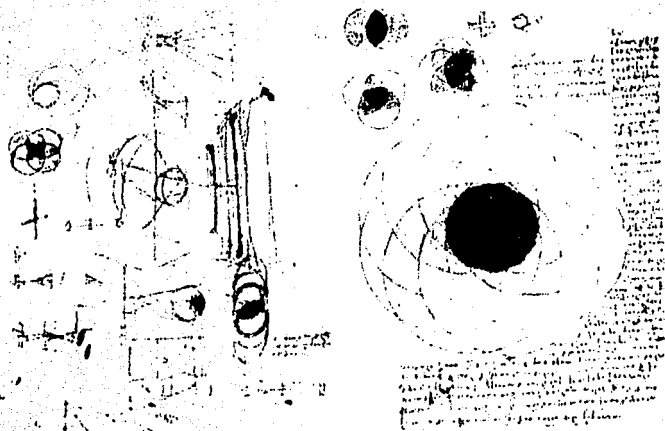
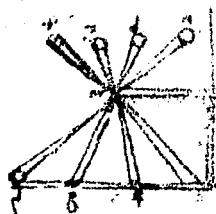


FIG. 22. ESTUDIO SOBRE GRADACIONES DE LUZ Y SOMBRA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 187 r.

FALLA DE ORIGEN



This diagram illustrates the relationship between light and shadow. It shows a central point from which several lines radiate outwards, representing rays of light. The lines are labeled with letters 'a' through 'h' at their ends. The base of the diagram is a horizontal line with points labeled 'a' through 'h' corresponding to the lines. The drawing is a perspective view of a light source and its rays hitting a surface.

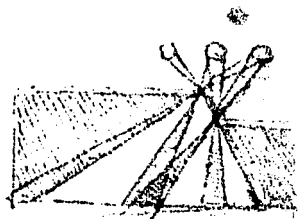
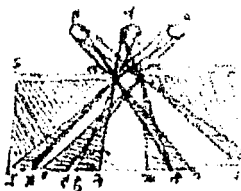


FIG. 23 LUZ Y SOMBRA CON RELACION A VARIAS FUENTES DE LUZ.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Colección Real, Windsor, no. 19149 r.

FALLA DE ORIGEN



El estudio de un sistema de iluminación se realiza en un espacio tridimensional, donde se definen los puntos de luz, los puntos de observación y los puntos de interés. Este estudio se realiza mediante el uso de un fotómetro esférico, que permite medir la intensidad de la luz en todos los puntos del espacio.

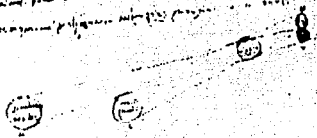


FIG. 24 ESTUDIO PARA FOTOMETRO ESFERICO.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 4 v.

FALLA DE ORIGEN

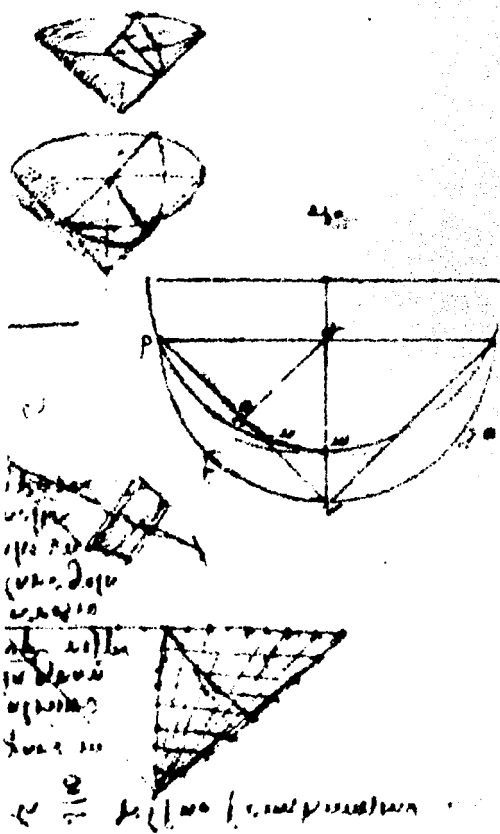


FIG. 25 ESTUDIO SOBRE LA CIENTINA.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 73 r.

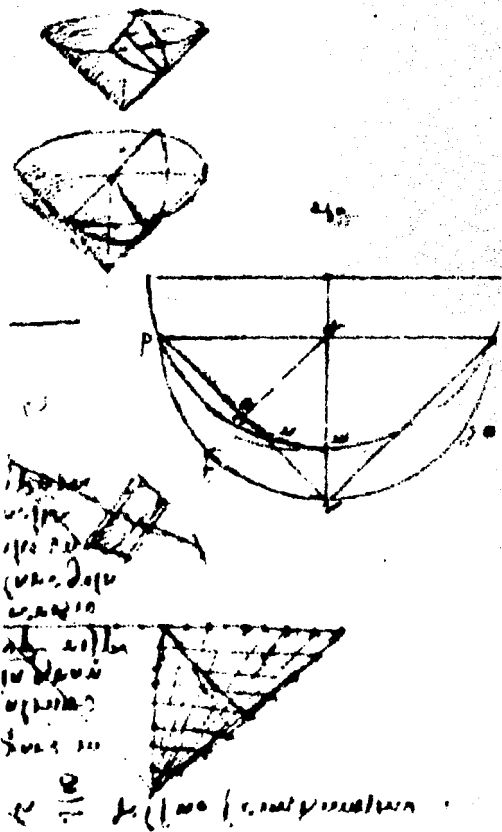


FIG. 25 ESTUDIO SOBRE LA CIENTINA.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 73 r.

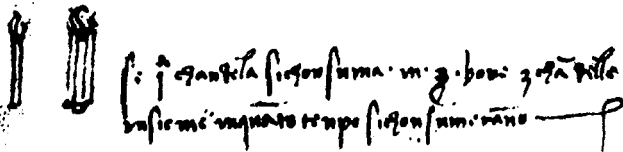
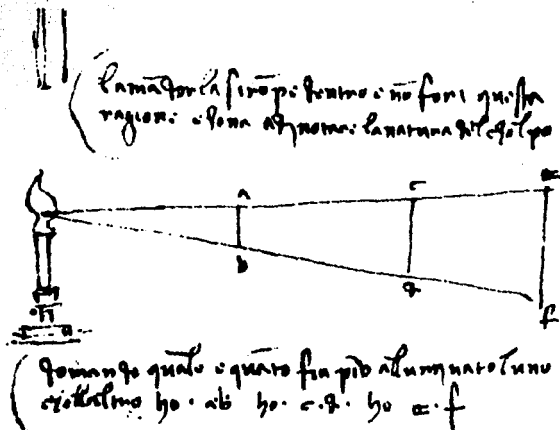


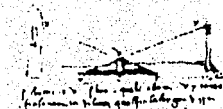
FIG. 26 ESTUDIO SOBRE EL PROBLEMA DE VARIACION DE INTENSIDAD DE LUZ  
 COMO FUNCION DE LA DISTANCIA.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Colección Real, Windsor, no. 12351.

FALLA DE ORIGEN

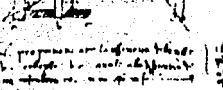
Elle se fait par un rayon lumineux qui se réfléchit sur un miroir fixe et sur un miroir mobile qui se meut par un mouvement rectiligne uniforme. Le point de réflexion du rayon sur le miroir mobile est déterminé par la position de ce miroir à l'instant où le rayon y arrive. On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



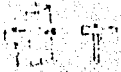
On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



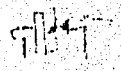
On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.

On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.

On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.



On peut donc mesurer la distance parcourue par le miroir mobile pendant un temps donné en mesurant la distance parcourue par le rayon lumineux.

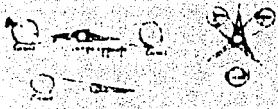


FIG. 27 FUNDACION DE LA FOTOMETRIA. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C., fol. 22 r.

FALLA DE ORIGEN

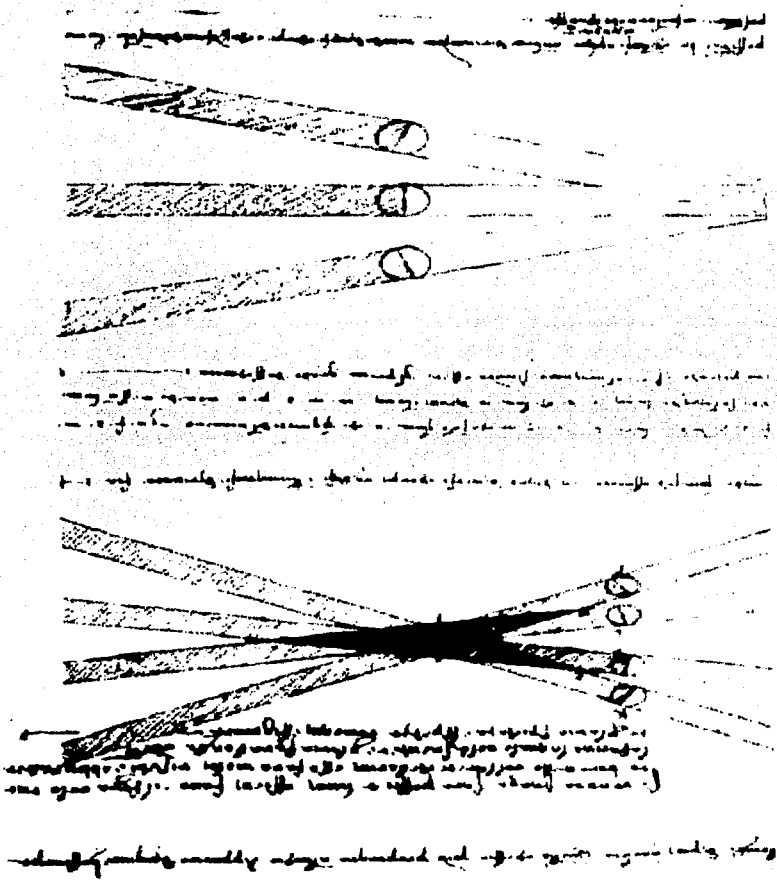


FIG. 28 EXPERIMENTOS SOBRE SOMBRAS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 13 v.

huan. p. hu. su. gu. / hu. gu. hu. hu.  
hu. hu. hu. hu. hu. hu. hu. hu.

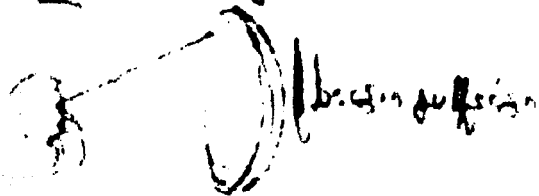


FIG. 29 ESTUDIO SOBRE FOTOMETRIA DE LAPICES DE LUZ  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. A, fol. 55 r.

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

*Propositi. In quibus modis et quibus modis...?*

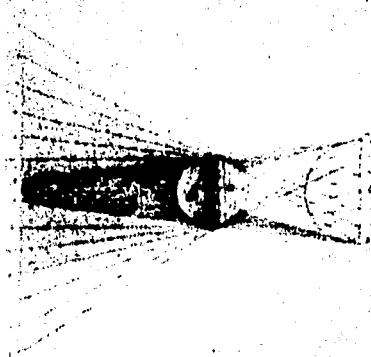
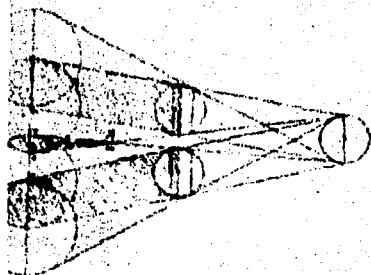


FIG. 30 SUBDIVISION DE LA PENUMBRA EN UN NUMERO INFINITO DE GRADACIONES.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 14 r.



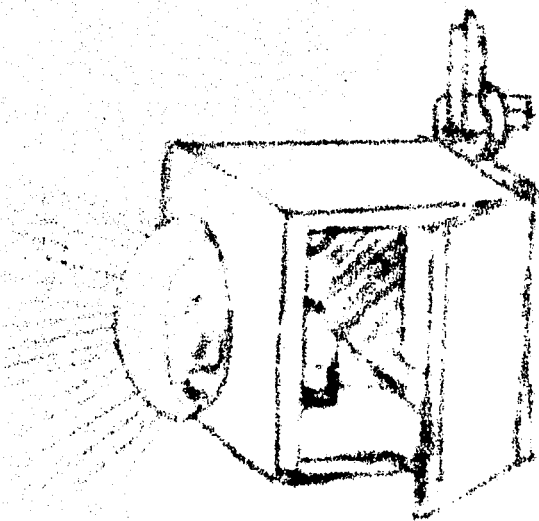
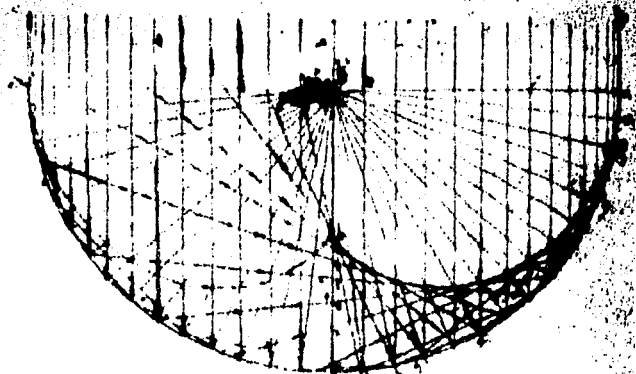


FIG. 31 PROYECTOR DISEÑADO POR LEONARDO DA VINCI.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 10 r-a.

FALLA DE ORIGEN



Cetero qm dicitur p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e p[ro]p[ri]e a[ut] p[ro]p[ri]e  
 cetero qm dicitur p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e p[ro]p[ri]e a[ut] p[ro]p[ri]e  
 cetero qm dicitur p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e p[ro]p[ri]e a[ut] p[ro]p[ri]e  
 cetero qm dicitur p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e p[ro]p[ri]e a[ut] p[ro]p[ri]e

Quanto tempore d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e  
 quanto tempore d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e  
 quanto tempore d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e  
 quanto tempore d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e d[omi]ni h[ab]ere p[ro]p[ri]e

FIG. 32 REFLEXION DE LUZ EN ESPEJOS CONCAVOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 87 r.

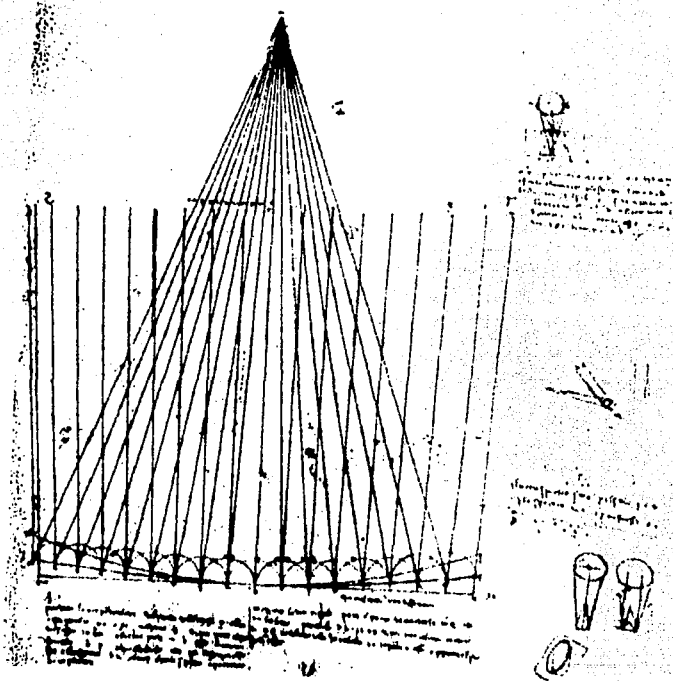
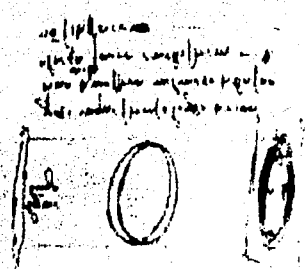


FIG. 33 RAYOS DE LUZ EN ESPEJO PARABOLICO.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 248 v-a.

FALLA DE ORIGEN

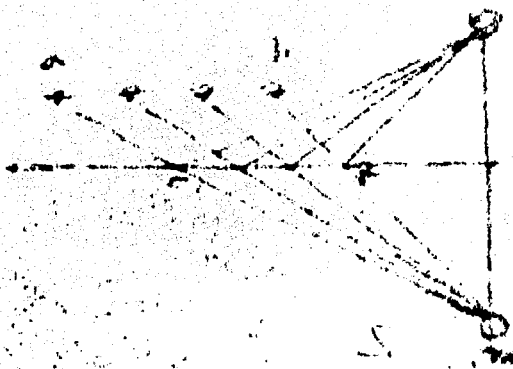


...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...

FIG. 34 MEDICION DE INTENSIDAD DE RAYOS DE LUZ Y DEFORMACION DE LA SOMBRA.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 8 r.

FALLA DE ORIGEN



l'occhio fosse grande per un  
 tratto  $\alpha$  - il raggio  
 in parrebbe nella superficie  
 anche tutto l'oggetto  $\alpha$  nel  
 grande del  $\alpha$  - un  
 parrebbe tutto  $\alpha$  -

FIG. 35 REFLEXION EN ESPEJOS PLANOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Colección Real, Windsor, no. 12587.

FALLA DE ORIGEN



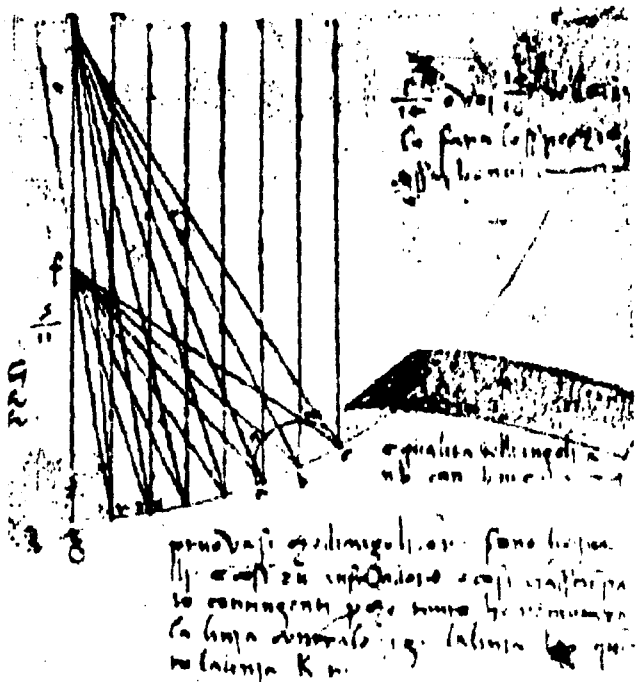
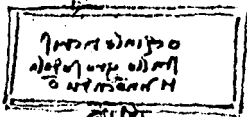


FIG. 37 ESTUDIO Y ANALISIS EFECTUADOS POR LEONARDO DA VINCI SOBRE LA  
 CAUSTICA DE ESPEJOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 88 r-b.

Handwritten text in Italian script, likely describing the telescope's components and their arrangement.

Handwritten text in Italian script, continuing the description of the telescope's design.



Main body of handwritten text in Italian script, providing a detailed description of the telescope's construction and operation.

Handwritten text on the right side of the page, possibly a list of parts or a summary of the design.

FIG. 38 DESCRIPCION Y DIAGRAMA DEL TELESCOPIO DE LEONARDO DA VINCI. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. F, fol. 25 r.



# FALLA DE ORIGEN

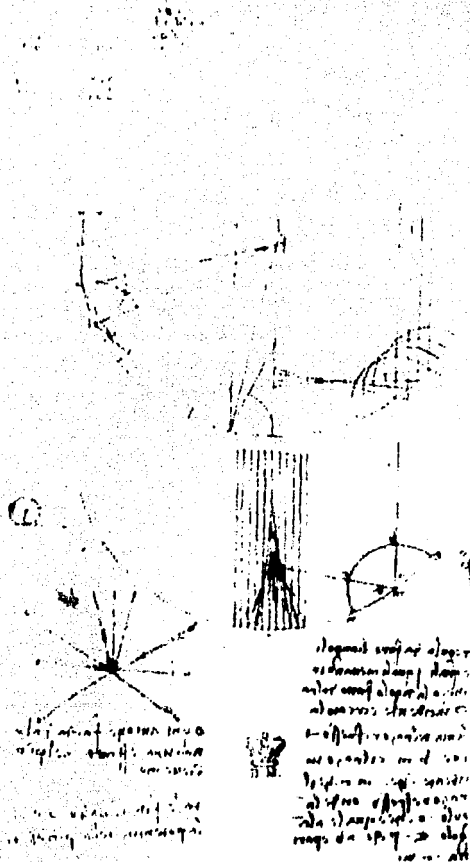


FIG. 39 ESTUDIO DE LEONARDO DA VINCI DE LAS ZONAS PARAXIALES DE ESPEJOS CONCAVOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 85 r.

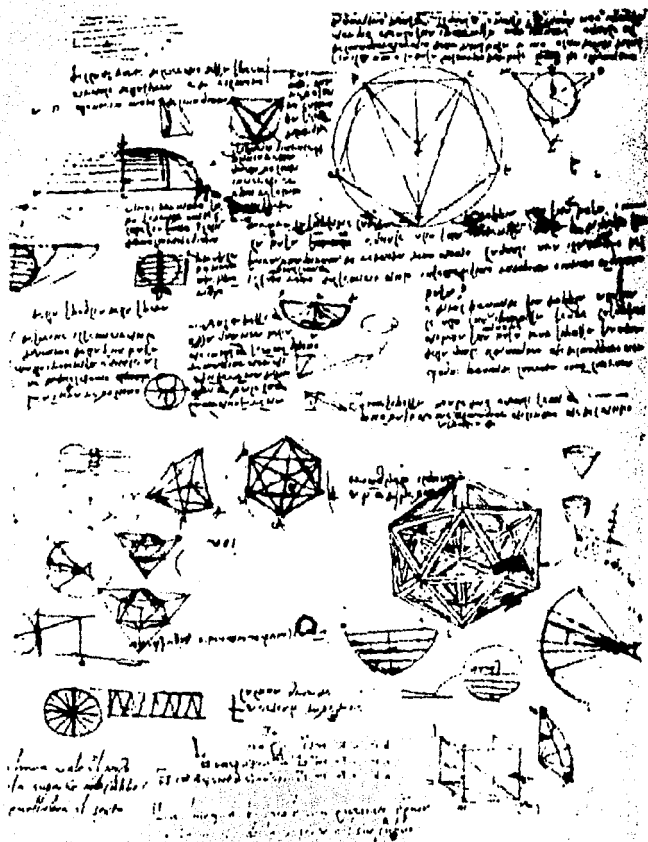


FIG. 40 HACER VIDRIOS PARA VER LA LUNA AMPLIFICADA, ESCRITO EN EL CENTRO DEL MANUSCRITO. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 190 r-a.

FALLA DE ORIGEN



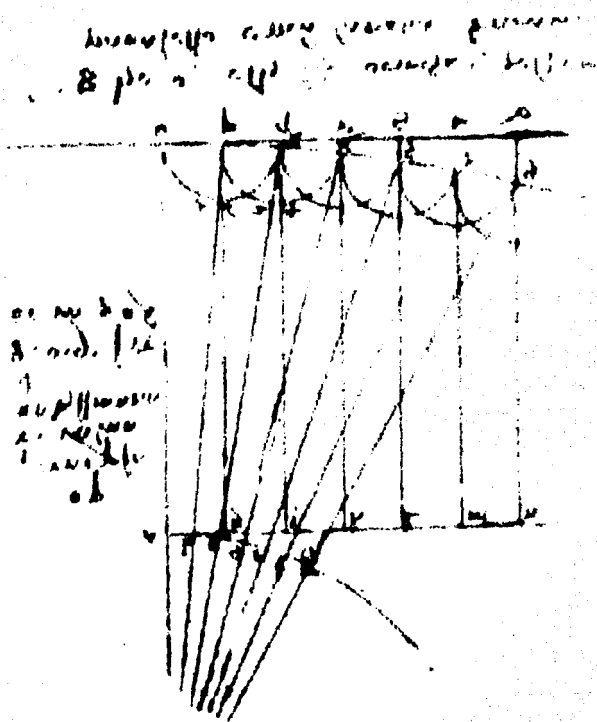


FIG. 42 ESTUDIO SOBRE DIVERGENCIA DE RAYOS INCIDIENDO SOBRE UN ESPEJO  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod: Arund., fol. 73 r.

FALLA DE ORIGEN

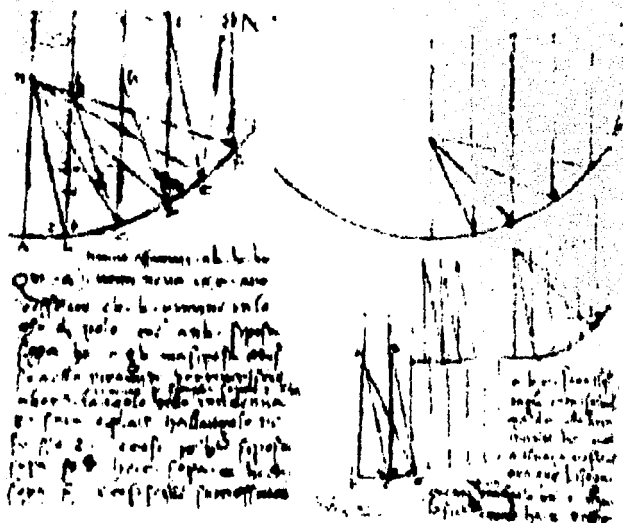


FIG. 43 ESTUDIO SOBRE RAYOS INCIDENTES Y REFLEJADOS INCIDIENDO SOBRE UN ESPEJO.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 88 v-b.

FALLA DE ORIGEN

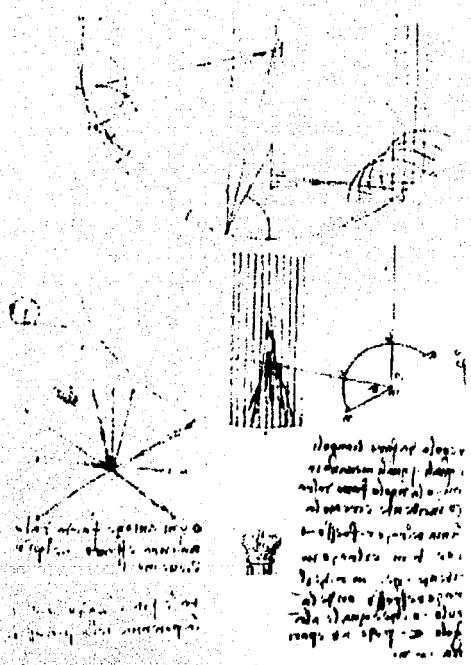


FIG. 44 ESTUDIO SOBRE RAYOS INCIDENTE Y REFLEJADO EN ESPEJOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 85 v.

FALLA DE ORIGEN

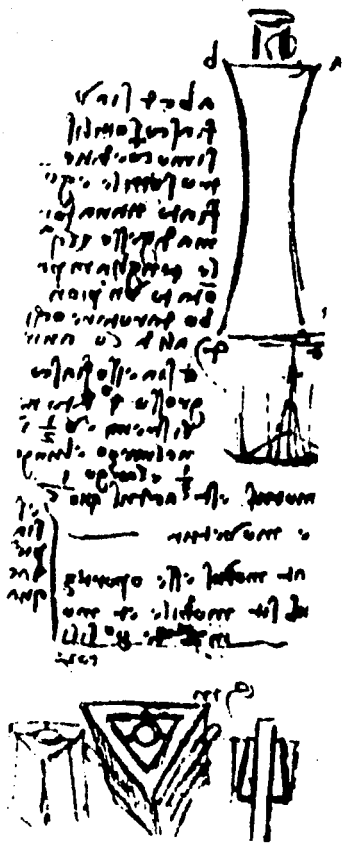


FIG. 45 METODOS DE CONSTRUCCION DE LENTES PARA ANCIANOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 83 v-b.

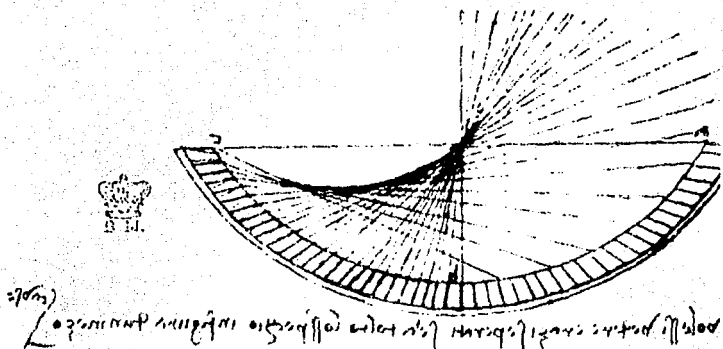
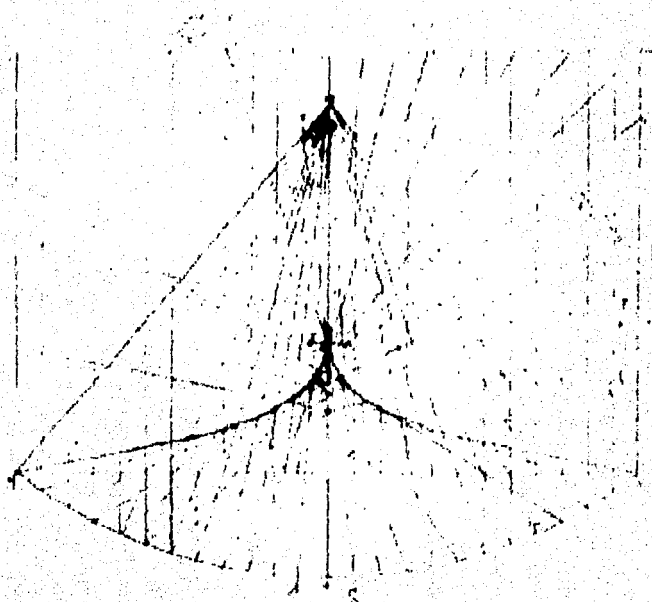


FIG. 47 PARA PROBAR LA CALIDAD DE ESPEJOS, LEONARDO DA VINCI, AISLABA RAYOS DE LUZ, CUBRIA LA SUPERFICIE DE ESPEJOS CON BLANCO DE PLOMO, LUEGO LO REMOVIA PARCIALMENTE, ANTICIPANDOSE AL METODO DE HARTMANN.

REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 87 v.

FALLA DE ORIGEN





Este diagrama ilustra la reflexión de rayos en espejos. Se muestra un punto focal en la parte superior, desde el cual se emiten rayos que se reflejan en una superficie curva y convergen en un punto inferior. El diagrama está rodeado por un recuadro con una cuadrícula de líneas discontinuas.

FIG. 47 REFLEXION DE RAYOS EN ESPEJOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 87 v.

FALLA DE ORIGEN

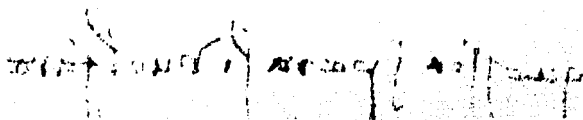
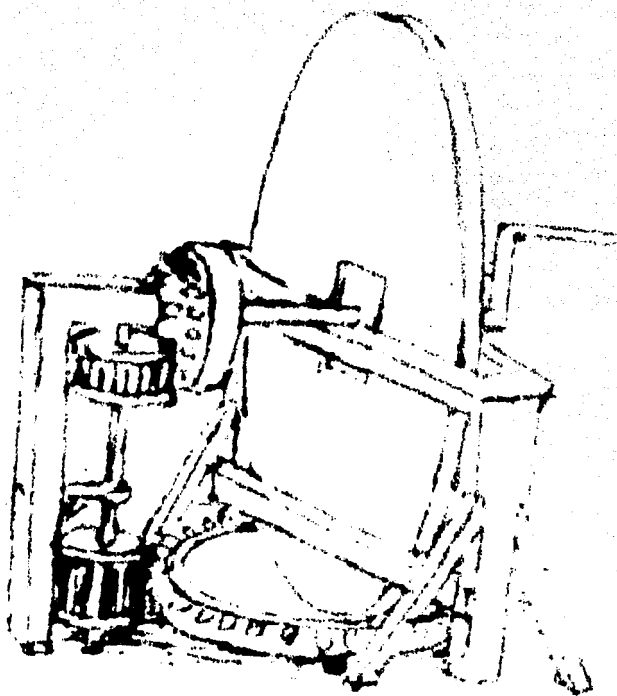


FIG. 48 MAQUINA PARA FABRICAR ESPEJOS CONCAVOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 32 r-a.

FALLA DE ORIGEN

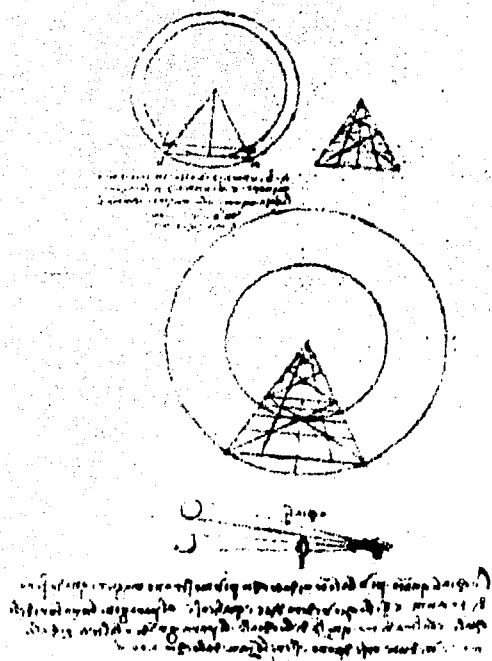
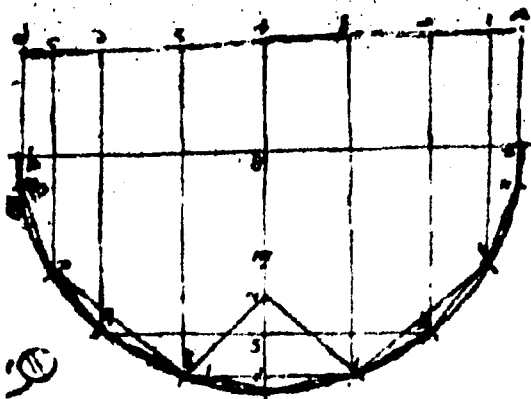


FIG. 49 TELESCOPIO SIN PIEZA OCULAR.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. A, fol. 12 v.

FALLA DE ORIGEN



14. ANUNCIAN OMNIA ANTI USUQUE EFFICACIA  
 15. NISI USUQUE OMNIA USUQUE  
 16. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 17. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 18. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 19. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 20. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 21. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 22. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 23. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 24. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 25. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 26. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 27. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 28. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 29. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 30. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 31. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 32. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 33. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 34. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 35. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 36. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 37. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 38. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 39. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 40. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 41. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 42. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 43. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 44. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 45. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 46. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 47. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 48. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 49. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 50. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 51. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 52. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 53. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 54. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 55. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 56. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 57. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 58. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 59. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 60. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 61. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 62. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 63. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 64. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 65. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 66. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 67. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 68. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 69. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 70. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 71. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 72. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 73. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 74. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 75. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 76. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 77. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 78. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 79. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 80. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 81. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 82. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 83. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 84. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 85. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 86. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 87. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 88. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 89. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 90. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 91. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 92. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 93. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 94. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 95. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 96. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 97. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 98. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 99. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE  
 100. USUQUE USUQUE USUQUE USUQUE

FIG. 50 ESPEJO EN FORMA DE MEDIO ANILLO, PLANO Y PULIDO POR DENTRO,  
 EXCEPTO POR UN PEQUEÑO ORIFICIO, PARA VER EL SOL.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Arund., fol. 86 r.

FALLA DE ORIGEN

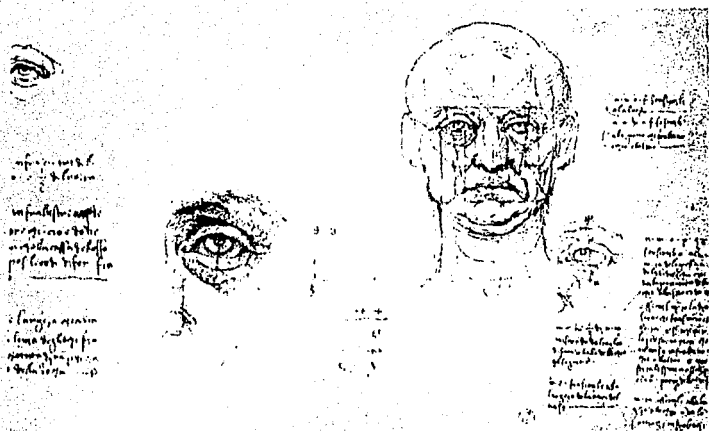


FIG. 51 ESTUDIO DE LAS PROPORCIONES DE LA CARA Y LOS OJOS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Manuscrito de la Real Biblioteca de Turin

FALLA DE ORIGEN

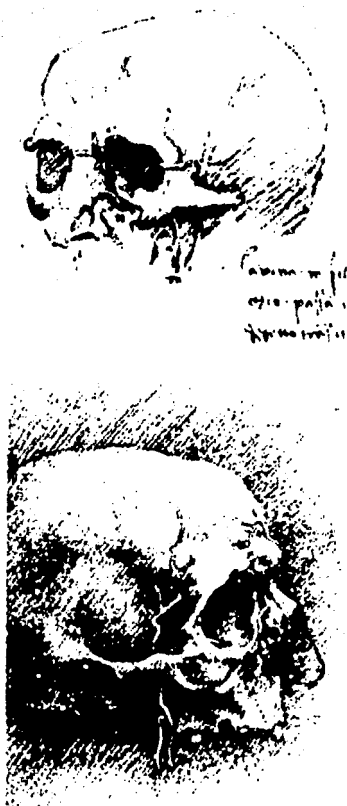


FIG. 52 DIBUJOS DE CAVIDADES ORBITALES.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Colección Real, Windsor, no. 19059 r.

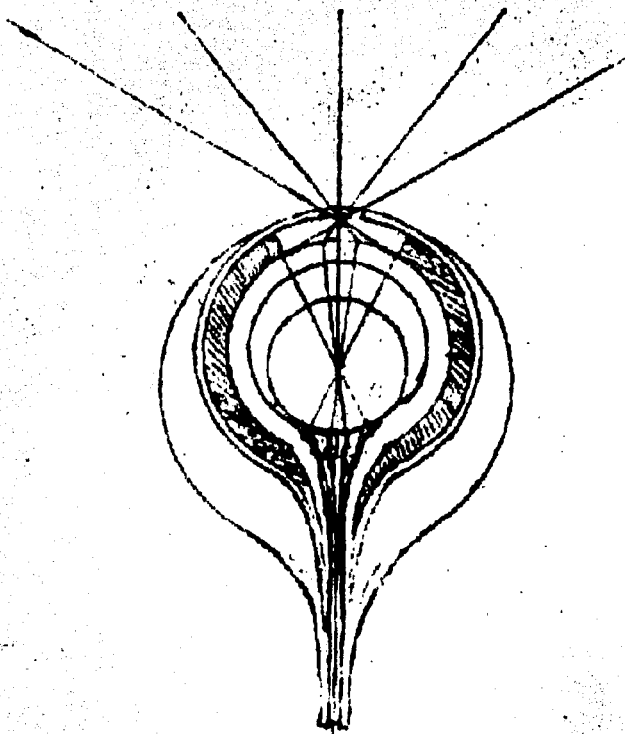


FIG. 53 ESQUEMA DEL OJO REALIZADO POR LEONARDO DA VINCI.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 337 r-a.

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

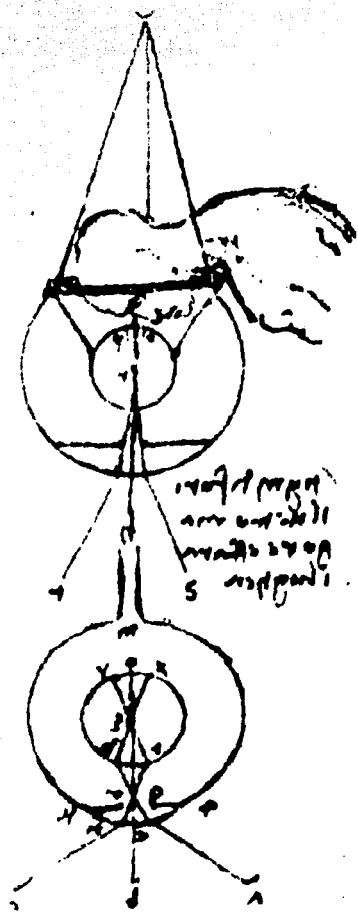


FIG. 54 MODELO DEL OJO CONSTRUIDO POR LEONARDO DA VINCI.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. D, fol. 3 v.



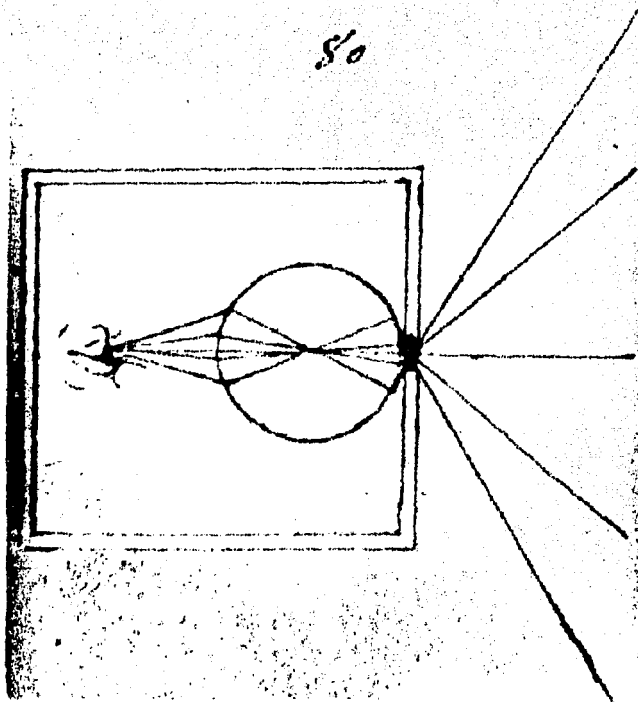


FIG. 55 CON UNA ESFERA DE VIDRIO COMO LENTE, COLOCADA DELANTE DE LA APERTURA DE UNA CAMARA OSCURA, LEONARDO MUESTRA EL PRIMER USO DE LENTES EN ESTA POSICION, PREVIAMENTE REALIZADO POR DANIEL BARBARO DE VENEZIA.

REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 337 r-a.

FALLA DE ORIGEN



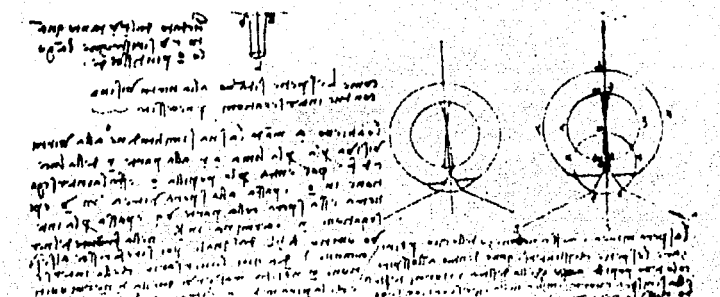
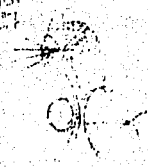


FIG. 56 SISTEMA DE LA ESFERA VITREA DE LEONARDO DA VINCI.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. D, fol. 3 v.



Handwritten text in a script, possibly Hebrew or Arabic, located in the upper left corner of the page.



Handwritten text in a script, possibly Hebrew or Arabic, located in the center of the page.

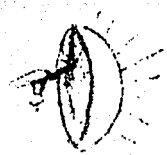


FIG. 58 A LA IZQUIERDA : EXPERIMENTO PARA DEMOSTRAR EL VASTO CAMPO VISUAL DEL OJO.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 222 r-a.  
A LA DERECHA: MODELO DE CORNEA EN VIDRIO.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. K. fol. 118 v.

FALLA DE ORIGEN

# FALLA DE ORIGEN

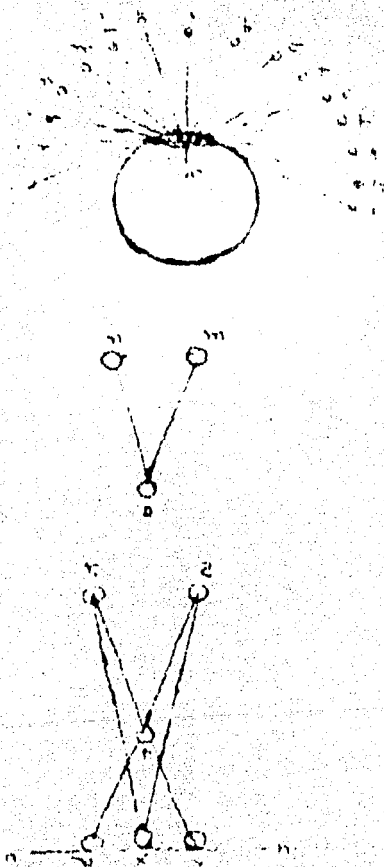


FIG. 59 ESTUDIO DEL ENORME CAMPO VISUAL CUBIERTO POR EL OJO.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. D, fol. 8 v.

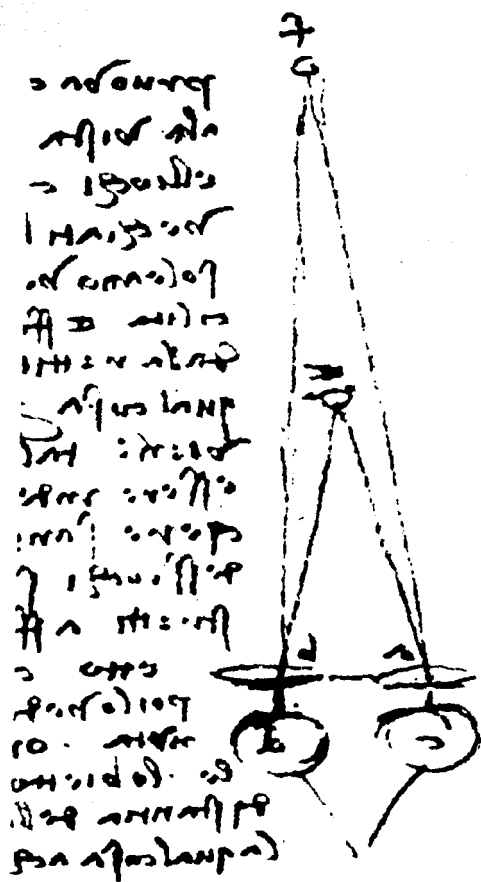


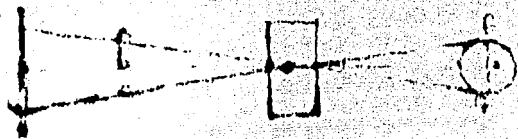
FIG. 60 DESCRIPCION DE ANTEOJOS PARA ANCIANOS.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cod. Atl., fol. 244 r-a.







2. Il raggio luminoso della obbietto parte  
 dalla punta superiore per formare un'immagine  
 come mostra il disegno sottostante.



Il raggio che si forma per il...

123 N. 123...

FIG. 62 EXPERIMENTO DE SCHEINER  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. K., fol. 126 r.

FALLA DE ORIGEN

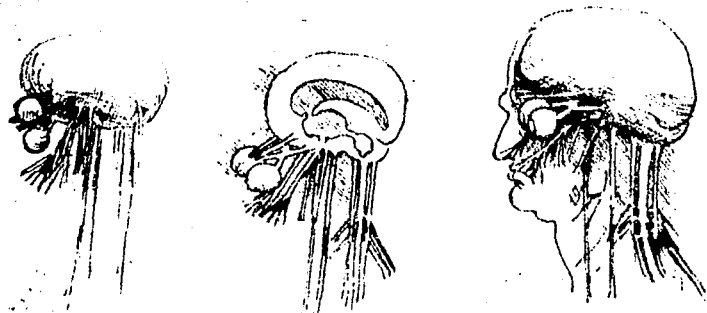


FIG. 63 ESTUDIO ANATOMICO DEL OJO REALIZADO POR LEONARDO DA VINCI.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cuad. Anat., V, fol. 8 r.

FALLA DE ORIGEN

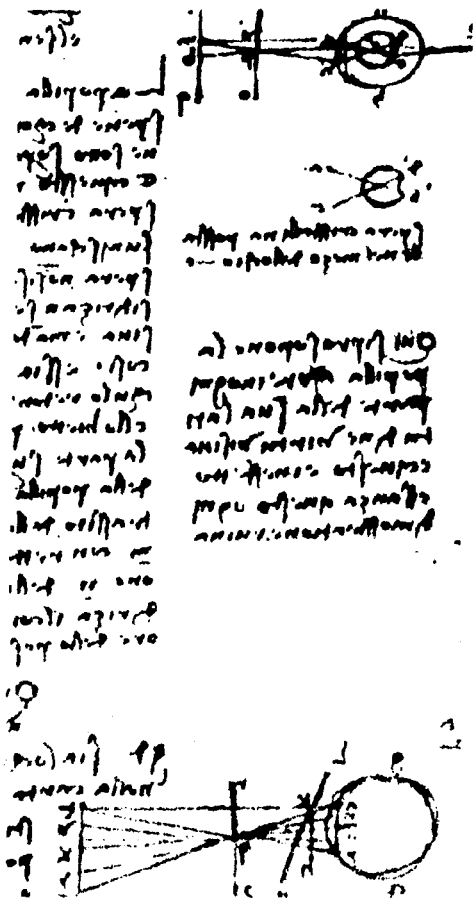


FIG. 64 DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO DE SCHEINER  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. D, fol. 2 v.

FALLA DE ORIGEN

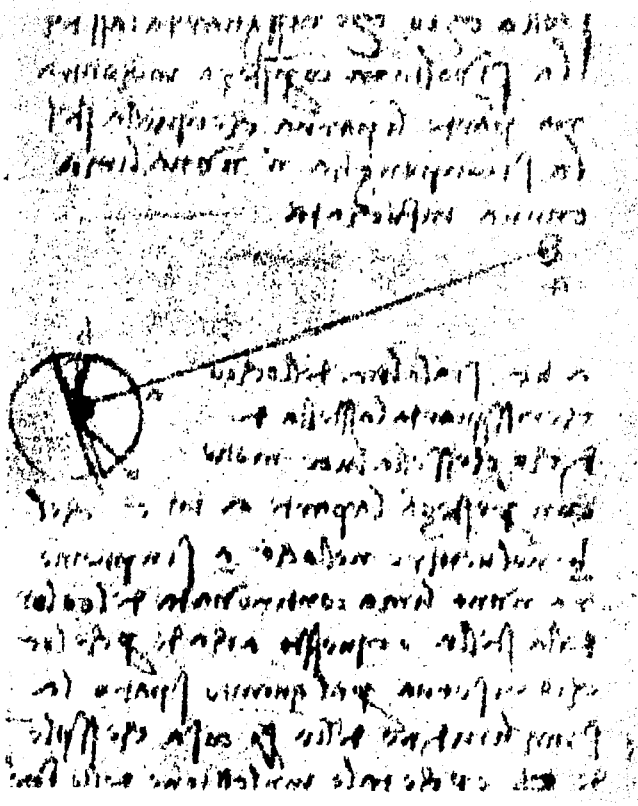


FIG. 65 OBSERVACIONES HECHAS POR LEONARDO DA VINCI SOBRE LA  
PERSISTENCIA DE IMAGENES SOBRE LA RETINA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. K, fol. 120 r.

FALLA DE ORIGEN



De la radiacion de la luz

Como se ve en el dibujo de la izquierda se ve que la luz se propaga en todas direcciones desde un punto de origen. En el dibujo de la derecha se ve que la luz se propaga en una sola direccion desde un punto de origen.



Este diagrama ilustra el fenomeno de radiacion de la luz. Se muestra un punto de origen de la luz que emite rayos en todas direcciones. Los rayos que se propagan en una sola direccion se denominan rayos paralelos.



Este diagrama ilustra el fenomeno de radiacion de la luz. Se muestra un punto de origen de la luz que emite rayos en todas direcciones. Los rayos que se propagan en una sola direccion se denominan rayos paralelos.

FIG. 66 DEMOSTRACION DEL FENOMENO DE RADIACION DEBIDO AL OJO. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. C, fol. 6 r.

FALLA DE ORIGEN



FIG. 67 ESTUDIO ANATOMICO DEL OJO REALIZADO POR LEONARDO DA VINCI.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cuad. Anat. V, fol. 6 v.

FALLA DE ORIGEN

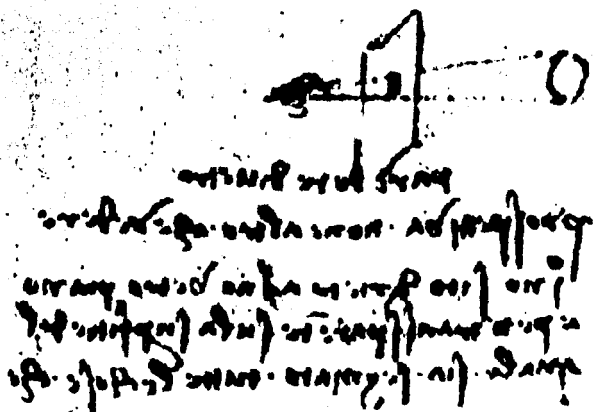


FIG. 68 ESTABLECIMIENTO DEL PRINCIPIO DE PERSPECTIVA.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Ms. A, fol. 1 v.

FALLA DE ORIGEN



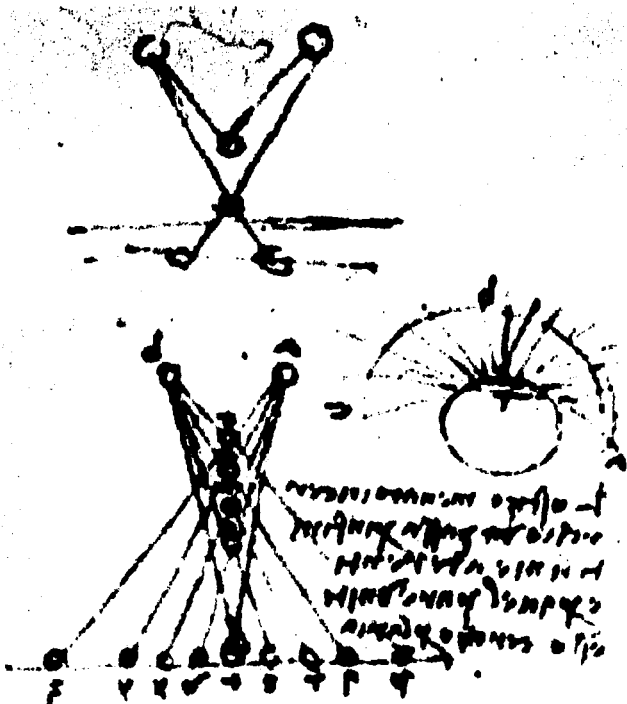
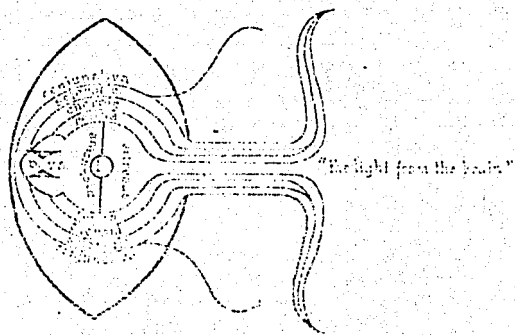


FIG. 69 ESTUDIO DEL DUPLICADO DE IMAGENES.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Cuad. Anat. IV, fol. 12 v.

FALLA DE ORIGEN



**FIG. 70 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA CONCEPCION QUE LA CULTURA GRIEGA TENIA DE LA ANATOMIA DEL OJO. REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Historia de la oftalmologia.**

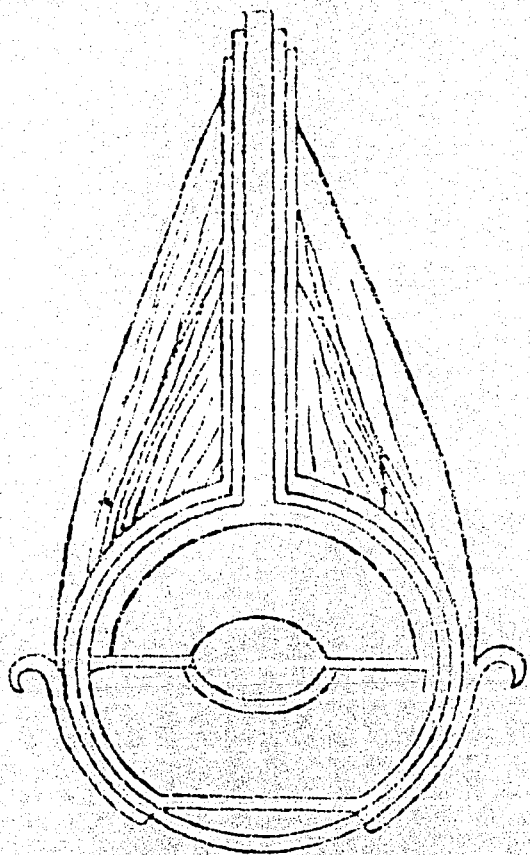


FIG. 71 ESQUEMA DEL OJO REALIZADO POR ANDREAS VESALIUS.  
REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Historia de la oftalmología.

## ESTRUCTURA DEL OJO

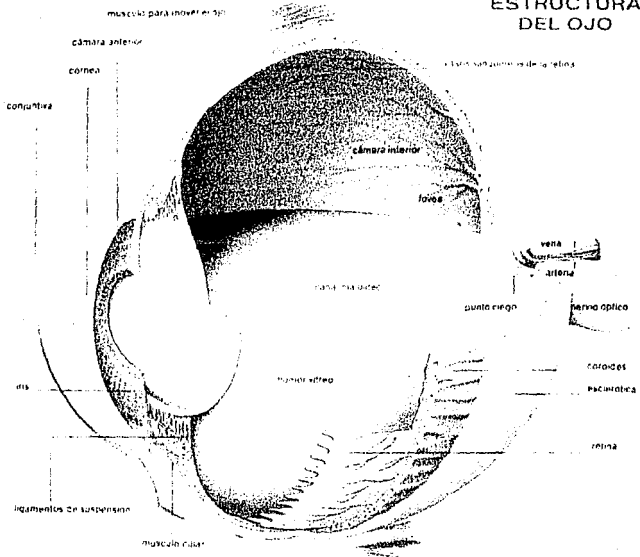


FIG. 72 ESQUEMA ESTRUCTURAL ACTUAL DEL OJO.  
 REPRODUCCION POR COMPUTADORA: Enciclopedia Saber y entender

### CAPITULO III.

#### PRINCIPALES ASPECTOS DE LAS TEORIAS ACTUALES SOBRE LA OPTICA .

Comencemos este análisis por el siglo XVII. Podríamos preguntarnos por qué iniciamos en él, y la respuesta podría ser muy fácil, ya que en esta época surge otro personaje genial, Sir Isaac Newton. Gracias a los físicos árabes, de los que se habló anteriormente, y a Roger Bacon y otros, se entendieron mejor los principios generales en que se basa la óptica; y es al comenzar el siglo XVII cuando se tiene ya el microscopio, y el telescopio aparecería pronto en escena, así como otros instrumentos en rápida sucesión.

Otra razón para fundamentar la necesidad de iniciar nuestro análisis en este siglo, es que en él se tiene una nueva y más favorable posición de la ciencia debido a que se fundan las llamadas academias científicas. Después de la astronomía es la óptica la ciencia que hizo los mayores progresos durante el siglo que nos ocupa, siendo Newton el responsable de las principales contribuciones a este desarrollo. Como quedó dicho en el capítulo I, desde la época de los griegos se conocían las leyes fundamentales de la propagación de la luz. Tolomeo había estudiado la refracción, si no en forma exacta, por lo menos adecuada para los propósitos que perseguía.

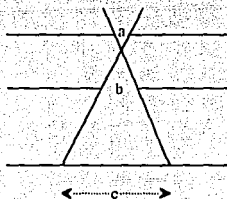
El aprendizaje referente a construcción de lentes y espejos ya estaba desarrollado, entendían que se podían utilizar para cambiar la convergencia o divergencia de un haz luminoso, y concentrar sus rayos en un foco. El telescopio fue inventado a principios del siglo XVII, perfeccionándose en manos de científicos de la talla de Galileo, Kepler, Huygens y otros. En 1621, Willebord Snell descubre la ley de la refracción, que había permanecido oculta para la ciencia hasta que en 1637 la anunció Descartes. De todo esto nace la tecnología de los instrumentos ópticos, estableciéndose

sus principios básicos hasta finales del siglo XVII. La óptica física comienza a existir a principios del siglo que nos ocupa.

Kepler en 1604 y 1611 desarrolla los estudios hechos por Alhazén. Descubre la visión como la "sensación de un estímulo de la retina"; y decía que la lente o cristalino del ojo forma una imagen del objeto sobre la retina. Creía que la retina contenía un espíritu sutil: el *spritus visivus*, el cual se descomponía al tomar contacto con la luz: esta teoría es muy importante, ya que se anticipa a los conocimientos posteriores de la llamada "púrpura visual", cuyos cambios bioquímicos producen la sensación visual, como se sabe en la actualidad. Señalaba además, que el cambio químico en el *spritus visivus* debe ser algo duradero, puesto que una imagen persiste en la retina durante un tiempo muy corto después de mirar una luz brillante. Explicaba la miopía y presbicia, en forma exacta, como debidos a que el cristalino concentra los rayos de luz en un foco que no coincide con la retina. También explicó que es calculable la distancia a un objeto en función de la diferencia en las direcciones de la visión de los dos ojos (según varias de las figuras del capítulo anterior, existen antecedentes de estudios de este tipo en los dibujos realizados por Da Vinci).

Descartes, por su parte, volvió a la idea anterior de que la luz emanaba del órgano de la visión. Suponía que ésta se debía a la propagación instantánea por presiones entre las partículas del medio que suponía llenaba el espacio. Construyó una prueba errónea y no conveniente de las leyes de la óptica, lo cual demoró la aceptación del descubrimiento de Röemer sobre la velocidad finita de la luz. Otra de sus suposiciones fue acerca de la diferencia de colores, la que supuso se producía por el giro de partículas a diferentes velocidades, las que giraban más aprisa daban la sensación de rojo, las más lentas de amarillo, verde y azul, en ese orden. Pero faltó dar una respuesta convincente a lo que es la luz y una respuesta al origen y significado del color.

Grimaldi (1618 - 63), en 1665 publica un libro titulado *Physico-Mathesis De Lumine, Coloribus, Et Iride*, que fue su obra póstuma. En ella se aprecia la primera descripción del fenómeno de la difracción, donde se muestra la cualidad ondulatoria de la luz, dando cuenta de experimentos para llegar a ello. Su experimento consistía en colocar dos pantallas, las cuales tienen dos orificios (a y b), debajo de ellas una tercera pantalla, paralela a las anteriores. Se hace incidir una luz fuerte sobre las aberturas de la pantalla superior, iluminando parte del fondo, quedando parte en la sombra. Si la propagación de la luz fuera en línea recta, la parte c, recibiría alguna iluminación, débil o fuerte, mientras que las zonas fuera de esa sección estarían en completa oscuridad. Las observaciones de Grimaldi fueron: la iluminación se extendía más allá de c, con lo que pudo demostrar que la luz no se propagaba solamente en línea recta.



Encontrando además, que la transición luz- oscuridad no era brusca en el límite de la sombra, sino que presentaba una banda de colores irisada que pensó tenía el mismo origen que el arco iris. Este límite de luz sombra no solo tenía color, sino que mostraba alteraciones rítmicas. Esto le recordó la sucesión de círculos concéntricos producidos al arrojar una piedra en agua, y le condujo a considerar, como antes lo había hecho Leonardo, que la luz se asociaba con el movimiento ondulatorio.

Consiguió bandas de colores semejantes al reflejar la luz del sol en una lámina metálica grabada con gran número de líneas paralelas muy cercanas entre sí. Vino a ser así este instrumento precursor de la red de difracción parte esencial en los equipos de laboratorio de óptica. Grimaldi, sin embargo no emitió ninguna opinión que pudiera aprovecharse, solamente indicó que el color es una modificación de la luz que resulta de algún modo de la estructura íntima de la materia.

También en el año de 1665, Hooke publica, en Inglaterra, *Micrographia*. Muestra sus experimentos consistentes en observar láminas delgadas de diferentes sustancias, que producen colores iridiscentes (mica, pompas de jabón, manchas de aceite en la superficie del agua). Encontró que el color que se veía en cada punto dependía del grosor de la capa de material. Cuando el grosor cambiaba gradualmente, había una gama de colores continuamente cambiantes y descubrió que en esos lugares los colores eran los mismo y en el mismo orden que en el arco iris. Partiendo de lo anterior imaginó que la luz blanca era producida por rápidas vibraciones de partículas del cuerpo luminosos en pulsaciones esféricas. El color aparecía donde se perturbaba la emisión simétrica de las pulsaciones. Los colores fundamentales (azul y rojo) resultaban de pulsaciones oblicuas y confusas de manera diferente, azul cuando la parte débil de la pulsación se propagaba en primer lugar, y rojo al hacerlo en el último lugar.

Posteriormente Newton utilizó en 1666 un prisma que compró en la feria de Stourbridge, cerca de Cambridge, para ensayar con él los tan celebrados fenómenos de los colores; esto era bien conocidos en aquel tiempo. Poco después ayudó al doctor Barrow, su predecesor en la cátedra de matemáticas, a revisar sus notas sobre óptica. Aparecieron dichas lecciones en 1669, en las que Barrow exponía ideas imposibles sobre el significado del color; el blanco es una luz copiosa; el rojo es una luz condensada interrumpida por intersticios de sombra; el azul es luz enrarecida, declina. Newton publica su primera descripción del experimento realizado con su ya famoso



prisma en 1672, el cual revela el auténtico significado del color. Recordando que en las notas de Da Vinci ya aparecen experimentos semejantes, hizo Newton un pequeño orificio a través del cual pasaba la luz solar en forma de un pequeño haz de luz, haciéndolo pasar a través del prisma. Encontró que la luz se extendía en forma de una banda coloreada (espectro), en la que se observaban los colores del arco iris, desde el rojo hasta el violeta; la banda era más de cinco veces más larga que ancha, pero no logró comprender por qué el espectro se dispersaba de esta manera, haciendo al violeta más disperso que el rojo. La mitad del misterio se había revelado, colores diferentes significaban diferentes grados de frangibilidad; el rayo de luz violeta se refractaba en mayor ángulo que el de luz roja. Experimentó más haciendo que luces de colores variados del espectro sufrieran una segunda refracción en ángulo recto con la primera. Para ver si se desviaban igual, o sufrían nuevos cambios. Encontró que los colores diferentes se mantenían idénticos, y cada uno de ellos experimentaba la misma refracción que antes. Continuó sus trabajos hasta que concluyó que la luz solar era una mezcla de luces de todos los colores del arco iris, siendo los colores cualidades permanentes de varios ingredientes, los cuales experimentaban la refracción en grados diferentes.

Con esto respondía parcialmente a las preguntas fundamentales de qué es el color, pero quedaba sin respuesta la pregunta importante de qué es la luz. Newton sugirió la asociación de diferentes colores con las vibraciones del éter de diferentes longitudes de onda, que es lo que constituyó un siglo más tarde la teoría ondulatoria. Newton proponía esto como un perfeccionamiento a las teorías de Hooke.

Al final de su Óptica, Newton añade varias cuestiones, a saber: ¿el color radiante no puede ser transportado por un medio mucho más sutil que el aire?, continuando; ¿no es este el mismo por el cual la luz comunica color a los cuerpos?, y en otra pregunta, ¿no son los rayos de luz cuerpos

muy pequeños al través de medios uniformes en línea recta sin inclinarse en la sombra, lo cual es la naturaleza de los rayos de luz?. y finaliza, ¿no serán los cuerpos densos y la luz convertibles recíprocamente, y no podrán los cuerpos recibir gran parte de su actividad de las partículas de luz que entran en su composición?. En el transcurso de la obra, se cuida de insistir en que sus resultados no se apoyaban en ninguna opinión especial sobre la naturaleza de la luz, el hecho escueto parece haber sido que jamás fue capaz de determinar en su mente si la luz era corpuscular u ondulatoria; escribía como si comenzara como corpuscular y terminara como vibraciones que los corpúsculos hubieran excitado en un éter. Pero como lo corpuscular era más fácil de entender se propagó la idea de que Newton había declarado que la luz era corpuscular, y durante mucho tiempo esta idea persistió suponiendo que la luz era ambas cosas; pero ahora sabemos que no es ninguna de las dos. Los hechos que demostraron que una teoría ondulatoria pura era inadecuada no se conocieron sino hasta el final del siglo XIX.

Cuando Newton pensaba en la naturaleza de la luz, y antes de publicar su Óptica, vivía en Holanda Christian Huygens (1629 - 95) construyendo otra teoría. El no veía nada corpuscular en la luz, y se contentaba con considerarla solamente ondulatoria. Publicó esta teoría en 1690 en su *Traité de La Lumière*. Como Descartes, Newton y otros contemporáneos, imaginaban que el espacio estaba formado por un medio, muy sutil y elástico, y suponía que un objeto luminoso producía perturbaciones en dicho medio en intervalos de tiempo regulares. Esto producía ondulaciones regulares en el medio que se propagaban en todas direcciones en forma de ondas esféricas, Huygens suponía que cada punto de esa onda contenía una perturbación, la cual formaba a su vez nueva fuente de ondas que se propagaban por sí mismas. Si analizamos los manuscritos de Leonardo, podríamos pensar que Huygens se inspiró en ellos para emitir sus opiniones.

Basado en esto, pudo dar cuenta de ciertas propiedades de la luz. Se explicaba fácilmente la reflexión, la velocidad cambia en medios de diferentes densidades y de esto surge la ley de la refracción enunciada por Snell. Huygens comprobó también la propagación de la luz en línea recta, sin embargo fallaban por explicar otros fenómenos ante los que la teoría fallaba por completo (JEANS:1986, pp. 245 a 247).

En los dos siglos siguientes al de Newton también hay descubrimientos muy importantes en lo que a óptica se refiere. Después de haber fracasado las teorías de Newton y de Huygens para explicar la doble refracción, la óptica permaneció sin cambio durante el siglo XVIII, pero en el siglo XIX volvió a resurgir. En 1801 Young descubre la propiedad del movimiento ondulatorio descrito como interferencia; con esto se resolvía la mayor parte de la teoría óptica en términos de una concepción de la luz puramente ondulatoria. En 1793 Young prueba de manera concluyente que el acomodo del ojo para ver a diferentes distancias resultaba de los cambios en la curvatura del cristalino. Como podemos recordar de los manuscritos de Leonardo Da Vinci, ahí se registran sus estudios al respecto, que debieron también ser fuente de inspiración para estos estudios. Young describe la destrucción mutua de los dos trenes de ondas como interferencia, añadiendo: "Yo sostengo que semejantes hechos tendrán lugar dondequiera que dos porciones de luz se mezclen de la misma manera, y a esto lo llamo ley general de la interferencia de la luz". (JEANS: 1986, pp. 267 a 332).

Unos catorce años más tarde Fresnel desarrolla con gran habilidad matemática el tema. Probó que la teoría del movimiento ondulatorio podía explicar los fenómenos de la óptica conocidos entonces. Debido a esto, se convino desde entonces en el carácter ondulatorio de la luz, ya que parecía imposible que dos corrientes de partículas se neutralizaran. En 1821 Fresnel encontró que la luz roja tenía unas 40 000 ondas por pulgada y la violeta aproximadamente 80 000 y los colores intermedios, por consiguiente, tenían longitudes de onda intermedias. El éxito de la teoría

ondulatoria se relacionaba con el principio de Fermat, que decía que el tiempo de propagación de un rayo de luz alcanza un mínimo valor a lo largo de la trayectoria real de propagación del rayo. Como el tiempo de propagación a lo largo de la trayectoria efectiva es un mínimo, el tiempo de propagación por cualquier trayectoria contigua debe ser el mismo, de manera que si se mezclan varios trenes de ondas, las crestas coinciden con las crestas; y los trenes se reforzarán y la luz se acumulará a lo largo de la trayectoria de tiempo mínimo; pero no en cualquier parte. Se ve que el principio de Fermat es consecuencia inevitable de la teoría ondulatoria de la luz.

En 1849, H.L. Fizeau midió la velocidad de la luz en el aire encontrando un valor aproximado de 315300 Km/seg. Un año más tarde, J.L. Foucault inició una serie de experimentos empleando un método distinto y calculó un valor más exacto de 298600 km/seg. Michelson utilizó una metodología más moderna para sus mediciones, y obtuvo un valor de 299770 km / seg, aproximadamente; probando que la luz se propaga con menor velocidad en un medio denso, aportando con esto lo que requería el teorema de Fermat y la teoría ondulatoria. Con esto se redondeó la teoría corpuscular de la luz, con lo que únicamente se lograba explicar la refracción de la luz.

A comienzos del siglo XVI, en Venecia se presenta la época del Barroco y termina el Renacimiento, es una etapa de encrucijada para las artes bajo la sombra de los grandes maestros del Renacimiento. Además, debido a los grandes movimientos surgidos en Roma en esta etapa la armonía del Renacimiento muere y nace una época de contradicción y conflicto. Todo esto se refleja en los cambios radicales que se presentaron en todos los ámbitos de la vida, y especialmente en las artes. La Iglesia también sufre las consecuencias, ya que en esta etapa surge la Reforma propuesta por Lutero y la lucha del puritanismo de Calvino. En seguida vendría la Contrarreforma de Loyola.

Los viajes de navegación y el descubrimiento de América, hacen que España surja como país poderoso, con artistas importantes de la talla de El Greco, Caravaggio, Velázquez, Murillo, Bertini, Churriguera, Ribera, Della Porta y otros. Es la etapa de la Contrarreforma, donde los valores espirituales y morales resurgen frente a un auge científico y materialista que contrasta con el misticismo de las vanguardias del pensamiento católico. Surgen grandes místicos, Santa Teresa de Jesús y San Juan de la Cruz, cuyas ideas son distintas de las que prevalecieron en el medievo. Según ellos "el alma ascendía desde los abismos del pecado hasta el éxtasis de la unión con la divinidad". Surge la Compañía de Jesús, fundada por San Ignacio de Loyola, quién se alistó a la propagación de la fe en todos los rincones del planeta: su libro *Ejercicios Espirituales*, es una "exploración precisa y disciplinada de los misterios de la fe por medio de los sentidos y de la voluntad guiada por la razón".

Todas estas ideas místico-religiosas se reflejan ampliamente en el arte del Barroco. Se cambió "la claridad renacentista de la definición y la delimitación del espacio en marcos y patrones claramente percibidos, para ceder el paso a una geometría intrincada barroca tomando en consideración la fluidez del movimiento. En las composiciones artísticas desaparecen las formas circulares, triangulares y rectangulares propias del Renacimiento, para dar paso a las parábolas, óvalos, rombos, espirales y polígonos irregulares. El estilo barroco fue adoptado por los jesuitas como vocabulario de la época haciendo de él un estilo internacional, acorde con la pretensión ecuménica del catolicismo.

En el reinado de Luis XIV en Francia, París se torna en la capital intelectual y artística del mundo, alcanzando un lugar privilegiado entre las naciones europeas del siglo XVII. Pintores importantes como Rubens, Pussin, Gellée, Lebrun, Rigaud pertenecen a este siglo; surgen también filósofos como Descartes, La Fontaine, Molière, Pascal, y otros. Las ideas que prevalecieron: el

absolutismo y el academicismo. (FLEMING, W; 1992, p.p.215 a 256). En el absolutismo el poder se centra en el rey, quien adopta la posición de autoridad total para "substituir el desorden natural y humano con una copia razonable del orden y la ley cósmica". Se torna en protector de las artes, haciendo que sirviera de complemento al culto del rey, reuniendo todas las artes, antes separadas en planos diferentes. Todo esto se puede contemplar en la magnificencia del Palacio de Versalles.

El academicismo comienza en el reinado de Luis XIII, sin embargo es hasta Luis XIV donde se pone de manifiesto, convirtiéndose las distintas academias en ramificaciones del gobierno y las artes se consideran como parte del servicio civil. El director de las academias era el rey, quien ejercía su poder a través de los profesores. Lebrun dirigió la Academia de Pintura y Escultura, sometidos, como ya se dijo, al rey, y fungieron a la vez como ministros y consejeros de él, y en sus manos estaba la decisión de quiénes "recibían encargos, títulos, cargos, licencias, grados, pensiones, premios, ingreso a escuelas de arte, y el privilegio de exhibir en los salones". Fueron, por lo tanto, las Academias "medios de transmitir la idea de absolutismo a la esfera del arte".

El Amsterdam del siglo XVII, es un ejemplo del estilo barroco burgués, en donde pintores como Hals, Rembrandt, Teborch, Ruisdael, Steen, Hooch y Vermeer, comparten laureles con filósofos como Erasmo, Grocio, Descartes, Huygens y Espinoza. Prevalce la idea del culto del hogar, la defensa de los derechos y libertades individuales y la aplicación pragmática de los descubrimientos científicos.

Se toma como eje rector la Anatomía de Vesalio, se inician disecciones sistemáticas. Es en ésta época cuando los sueños de Leonardo Da Vinci de observar y utilizar las lentes para llevar a cabo dichas observaciones se vuelve realidad en el mundo, observándose tanto el cielo como la tierra. Los instrumentos ópticos se perfeccionan gracias a las hábiles manos de pulidores expertos como Benito Espinoza. Se construye un observatorio en la Universidad de Leyden y el microscopio abre

las puertas a la agrandada observación del fantástico mundo de lo infinitamente pequeño. Las expresiones artísticas más importantes de la época fueron las llamadas artes domésticas, la pintura y la música, que junto con las artes menores embellecían los hogares. Surge de esto el arte de caballete en la pintura, debido a que tenía que ser de un tamaño menor, para estar al alcance de la clase media holandesa.

El siglo XVII en Inglaterra es conocido como el de la Restauración, donde destacan Pedro Pablo Rubens y Antonio Van Dyck. La idea que predomina fue el racionalismo barroco, de la que surge un nuevo concepto de hombre, debido a los viajes de los navegantes y de los descubrimientos científicos e inventos: gracias al telescopio de Galileo se confirma y populariza la teoría heliocéntrica de Copérnico. El racionalismo se basa en la idea de que "el universo podía ser conocido cuando menos en términos lógicos, matemáticos mecánicos". Como filosofía y casi religión, esta visión del mundo tuvo consecuencias de enorme trascendencia al preparar el camino para la teoría del positivismo y materialismo, las doctrinas del deísmo y ateísmo y las revoluciones mecánica e industrial.

Todo esto lleva a Descartes a formular la geometría analítica, Pascal estudia las curvas cicloides, Leibniz y Newton el cálculo diferencial e integral. Es perfeccionado el telescopio y el microscopio, y se inventa el barómetro, el termómetro y el anemómetro. Se estudia el movimiento planetario, Harvey descubre la circulación de la sangre y se experimenta con termodinámica y gravitación (FLEMING; 1992, p.p. 257 a 269).

Los cambios culturales en este período que abarca desde el siglo XVII hasta la primera mitad del siglo XVIII, hacen que los conceptos del universo cambien, así mismo el criterio respecto a lo sobrenatural, los procesos mentales del pensamiento se modifican debido a los conocimientos científicos, aparecen sectas protestantes, por lo que se considera a esta época como una de

contradicciones irreconciliables, que tuvieron necesariamente que coexistir hasta prolongarse aún hoy.

La manifestación tardía del barroco se extendió por toda Europa, dando lugar a un estilo conocido como Rococó, esta palabra parece que proviene de la palabra italiana barroco, y de rocañiles (rocas) y coquilles (conchas), que aluden al tipo de decoración usada, este estilo es muy usado en los salones. Filósofos como Voltaire, Rousseau, Diderot, Kant, Goethe y otros forjan las ideas que prevalecen en el siglo XVIII, y que sirven de base para los movimientos socio-políticos como la Independencia de los Estados Unidos y la Revolución Francesa.

La etapa conocida como la Ilustración, surge como una prolongación del racionalismo, renace el clasicismo como una reacción emocional. El estilo rococó es el último estilo occidental que se puede considerar como universal y que estableció cánones de belleza. Ilustración es un término que agrupa tendencias de investigación científica, movimientos enciclopedistas, criterios optimistas del mundo y progreso. "Ilustrar por la luz de la inteligencia los problemas de la vida, substituir las costumbres y la tradición por la razón y dudar de todo", dice Flemig. Se inicia el mercado del arte en manos ahora de la clase media.

En los albores del siglo XIX, en París algunas convulsiones sociales originan cambios radicales en el plano intelectual, en el arte y en las formas de gobierno. Los descubrimientos de Pompeya y Herculano en 1748, la derrota de Napoleón en Waterloo en 1815, en este mismo año se exponen en Londres los mármoles griegos que son colocados en el Museo Británico en 1816, y surgen pintores como: Goya, Luis David, Juan Gros, Ingres y Géricaud. La era napoleónica o neoclasicismo, como se llama a esta etapa, en donde se eclipsan los ideales de la revolución por las realidades napoleónicas. Compien el deseo de libertad con la necesidad del orden; los



derechos humanos frente al poder y la fuerza del hombre, y se sacrifica el bienestar espiritual por consideraciones materiales, comenta Fleming en su libro **Arte, Música e Ideas**.

El retorno a las normas clásicas del arte, fue una forma como la burguesía criticaba la vida cortesana que se reflejaba en el estilo rococó. En el estilo neoclásico, lo más importante era la exactitud, lo que llevó a los artistas a copiar exactamente el modelo, ello en algunas ocasiones rayó en lo absurdo debido a que en ocasiones se pintaron ruinas arqueológicas. El París de 1830 se sacude por una inquietud política que finaliza en la Revolución de Julio; el romanticismo fue el estilo prevaleciente.

Desde el comienzo del siglo XIX hasta mediados del mismo, desde la caída de Napoleón hasta la proclamación de la Tercera República en 1870, los pintores más destacados fueron: Delacroix, Daumier, Corot y Millet. Los rápidos cambios producidos, tanto en el ámbito social, político e industrial, se reflejan en las artes. El color como intensidad de los sentimientos es el lenguaje básico del romanticismo, tanto en pintura como en música.

En 1806, se funda la escuela de Bellas Artes Independiente, por consejo de David y otros artistas. "La afinidad romántica por el pasado se extendió hasta llegar a la admiración por el renacimiento y los períodos barrocos." El retorno a la naturaleza fue uno de los mecanismos de escape más populares del siglo XIX, lo que se refleja en la adquisición de los paisajes de Corot y de Millet.

A finales del siglo XIX, surge en París un nuevo estilo, el realista y el impresionista, que a diferencia del neoclásico y romántico que tratan de fugarse de la realidad, buscan avenirse a ella. Gracias a los progresos científicos e industriales las posibilidades del arte se amplían, por la utilización de nuevos materiales que permiten una mayor rapidez en la producción. Los gobiernos pasan de sus "alturas heroicas" a una mayor realidad. Surgen filósofos como Comte y

Nietzsche y pintores como: Daumier, Courbet, Manet, Degas, Cézanne, Monet, Renoir, Gauguin, Van Gogh, Seurat y Toulouse Lautrec.

Dos de las principales ideas que sirvieron de fundamento y que motivaron las diversas tendencias de fines del siglo XIX y que nos ayudan a comprender la relación entre las artes son: la alianza del arte y la ciencia y el continuo fluir de los lazos entre las artes, por su tendencia a interpretar la experiencia en términos del tiempo. A finales de este siglo XIX, se comienza a manifestar una serie de tendencias divergentes y las artes, influenciadas con el método científico mostrándose la alianza arte-ciencia.

La física y la fisiología óptica descubren los secretos de color y luz que los artistas aprovechan en sus creaciones; los avances en la síntesis química producen nuevos pigmentos con una luminosidad mayor; se conoce más sobre el funcionamiento del ojo y respecto a la psicología de la percepción.

Los impresionistas revelan la importancia que la luz y el color tienen en la composición, en contraposición de lo que se creía respecto a la forma y la línea; uno de los principales pintores de la época que apoyaron lo anterior fue Monet. Esto motivó que los artistas buscaran ampliar horizontes y caminos nuevos, lo que lograron mayores implicaciones psicológicas. Los postimpresionistas investigaron respecto a como emplear nuevos descubrimientos como medios de expresión. Cézanne condujo a un nuevo concepto de la geometría pictórica y se volvió una anticipación importante del arte del siglo XX y el punto de partida del cubismo, como lo menciona Fleming. Este artista comentaba " hay gente que dice que una azucarera no tiene alma, a pesar de que cambia todos los días", con ello reflejaba su sentimiento respecto a la fuerza viva de los objetos, misma que muestra en sus bodegones.

Fue en esta época cuando las artes establecen entre sí lazos íntimos, buscando a interpretar experiencias en función del tiempo, tendiendo a lo improvisado, lo incompleto, o crear obras que son productos de la inspiración y no del cálculo. Fleming opina: "la presencia de la ciencia, sentida con mayor intensidad, y la del énfasis en el paso del tiempo, se convirtieron en medios importantes por los cuales las artes, a finales del siglo XIX, sentaron las bases para la transición a los diversos estilos modernos."

El siglo XX puede catalogarse como la época de los "ismos" y los cismas, como se puede ver en la cronología saturada de movimientos sociales, políticos y artísticos. Si analizamos esta etapa desde 1891 nos encontramos con el nacimiento del fonógrafo y los medios de registro sonoro y la patente de la cámara cinematográfica por Tomás Alva Edison; la fundación del psicoanálisis por Sigmund Freud; la exhibición de los "fauvistas" en 1905 en donde se incluyen obras de Derain, Rouault, Matisse y otros; la exhibición de "el puente" en Dresde, incluyendo pinturas de Nolde, Kirchner, etc.; movimiento que dura hasta 1913; el estilo cubista es perfeccionado por Braque y Picasso; se produce el movimiento futurista en Italia, en 1910, Einstein formula su teoría de la relatividad; Kandisky y Marc el grupo conocido como "el jinete azul"; se exhiben en París obras protosurrerealistas de Chirico y Chagall; son llevadas a Nueva York las modernas tendencias del arte europeo que da origen a su popularidad en este país, por medio de "el armori show"; (1914-1918) primera guerra mundial; se funda el Dadalismo en Zúrich que se extiende a Berlín, París y Nueva York; (1917) se da la revolución rusa, se publica por primera vez la revista *El Estilo*, originando el estilo internacional en donde se incluyen a artistas como Mondrian, Gropius, Mies, Vander Rohe, Le Corbusier, J.J. P. Oud; (1922) revolución fascista en Italia; (1924) se expide el manifiesto surrealista (surrealista) en París; (1933) revolución nazi en Alemania; (1936-1939) guerra civil en España; se comienza la explotación comercial de la televisión; (1939-1945) segunda guerra mundial y explosión de la primera bomba atómica y otro hecho importante de

este siglo XX, son los viajes espaciales, la instalación de satélites artificiales y finalmente en 1969, la llegada del hombre a la Luna.

Todos estos hechos enmarcan el surgimiento de pintores Rousseau (el Aduanero), Munch, Kandisky, Nolde, Matisse, Marin, Balla, Rouault, Mondrian, Klee, Marc, Hofmann, Leger, Picasso, Bossioni, Braque, José Clemente Orozco, Severini, Modigliani, Beckmann, Diego Rivera, Kokoschka, Chagall, Duchamp, Chirico, Hartt, Benton, Wood, Miró, Davis, Stewart, Curry, Burchfield, Shahn, Dalí, de Kooning, Kline, Bacon, Pollock, Wyeth, Rauschenberg, entre otros.

"El cambiar es lo único permanente", esta frase tomada del libro de Fleming refleja el pensamiento de este siglo. Lo que se había iniciado con Copérnico y Galileo dando al universo un cambio de lo estático a lo dinámico, empuja para eliminar todo lo establecido originando una evolución vertiginosa. "El relativismo histórico ha dado al artista moderno un número jamás visto de estilos y técnicas modernas para elegir, desde el pasado hasta el presente. El artista del siglo XX es heredero de todas las épocas". "Todas las ideas factibles, por último, han quedado plasmadas en las construcciones que los hombres han erigido para albergar sus actividades, las estatuas y pinturas que reflejan sus imágenes humanas, las palabras que expresan sus pensamientos más recónditos, y la música que arroja al viento sus anhelos y aspiraciones en un mundo cambiante.", opina Fleming en su libro *Arte, Música e Ideas*.

Este análisis cronológico, en donde se pretende resumir la historia de los movimientos político-sociales que llevaron a Occidente a la generación de movimientos artísticos consecuentes, trata de enmarcar el estudio que sobre óptica desarrolló Leonardo Da Vinci en el Renacimiento, y la influencia que tuvo en el desarrollo artístico actual.



RETRATO DE LEONARDO DA VINCI.

## CAPITULO IV.

**ESTUDIOS DE LEONARDO DA VINCI SOBRE ÓPTICA  
CONFRONTADOS CON LOS AVANCES ACTUALES DE ESTA PARTE  
DE LA FÍSICA.**

El análisis realizado en el capítulo anterior de esta investigación, refleja el pensamiento de Da Vinci en lo que se refiere a la óptica, tanto en sus dibujos como en las notas que en ellos se encuentran, mostrándonos el espíritu inquieto de que estaba dotado este genio, que aunque renacentista por nacimiento, es actual para nuestro siglo, ya que no se le pueden asignar fronteras a sus ideas y las de Leonardo, son de una actualidad fantástica.

Su forma de pensamiento por analogías nos lleva a considerarlo como un estudioso científico, aplicando para ello una metodología que más tarde Galileo formaliza. Iniciando con esto, existe una serie de detalles importantes, que impresos en sus manuscritos nos muestran de cuerpo entero a Da Vinci, no solo el genio de la pintura, sino también al genial estudioso de los fenómenos naturales.

El análisis que realizó sobre ondas mecánicas en el agua, en la que inicia sus estudios sobre la luz es actualmente la analogía usada para entender los fenómenos luminosos y sonoros. "Así como una piedra tirada al agua deviene centro y causa de muchos círculos, y como el sonido se difunde por círculos en el aire, así cualquier objeto, situado en la atmósfera luminosa, se difunde a sí mismo en círculos y llena el aire circundante de infinitas imágenes de sí mismo, y aparece todo por todo y todo en cada parte; esto se prueba por experiencia, puesto que si cierras una ventana vuelta a poniente y haces un agujero..." (RACIONERO:pp. 91,107,114,137 y 159, 1986), este párrafo de Leonardo nos enseña como intuyó la naturaleza ondulatoria de las ondas mecánicas, lo que lo convierte en un precursor científico del siglo XX, anticipándose a De Broglie (1927) en su principio dualístico del electrón. Los movimientos

ondulatorios en fluidos atrajeron el interés de Da Vinci " El agua golpeada por agua crea círculos en torno al punto de impacto; la voz en el aire va más lejos; aún más lejos la luz en el fuego; el espíritu va aún más lejos en el espacio, pero siendo finito, no llega al infinito. "La sombra deriva de dos cosas diferentes una de la otra, porque una es corpórea y la otra espiritual; corpórea es el cuerpo umbrío, espiritual es la luz." para explicar estas ideas es necesario pensar en la sombra como producto de la quietud corpórea; la fuerza es como la luz.

Christian Huygens (1690), enuncia la teoría ondulatoria de la luz, no consideró el movimiento transversal, ni tomó en cuenta la naturaleza vibratoria de la luz, concepto dado más tarde por Young, pero si analizamos el manuscrito K (en el Instituto de Francia) folio 49, podemos leer: " La proporción está no sólo en números y medidas sino en sonidos, pesos, tiempos y posiciones, y sea lo que fuera que sea hay fuerzas". En estas líneas se encierra la idea de movimientos periódicos o armónicos. Es decir proporción es armonía, por lo que vemos que Da Vinci afirma en forma clara que los movimientos ondulatorios están relacionados con una vibración, a lo cual se debe la propagación de la onda. En el Codex Atlanticus (folio 61r), todavía podemos ver más de sus ideas "un choque que puede ser descripto como un temblor más que como movimiento... es parte transmitido uno a otro sin cambio de posición." En la actualidad sabemos que la parte "transmitida", a las zonas adyacentes es consecuencia del campo magnético que desaparece generando un campo eléctrico haciendo que la onda avance, como fue descubierto posteriormente por Maxwell.

Para explicar la propagación instantánea de la luz, es importante considerar que para que esto se produzca, no se debe partir de que es un movimiento ondulatorio, y en 1676, Röemer, observando los eclipses, pudo cuantificar la velocidad de la luz. Las palabras de Fermat, cuyo principio es la base de la óptica geométrica, sin tomar en cuenta lo supuesto por Descartes, dedujo el llamado

"Principio de tiempo mínimo", manteniendo que la luz se propaga de un punto a otro a lo largo de un camino que le toma el tiempo mínimo, aún teniendo que desviarse de su trayectoria. Las palabras de Fermat " la naturaleza siempre actúa por los caminos más cortos" las encontramos en el Cuaderno Anatómico IV, folio 16r y en el Códice Arund. folio 85 v "Cada acción en la naturaleza tiene lugar por el camino más corto posible". Siendo este principio tan importante en la óptica es necesario resaltar que Leonardo Da Vinci lo enuncia primero y en forma correcta.

Tomado la teoría de la visión de los griegos, nos indicaba que en el momento de mirar el ojo envía hacia adelante una serie de partículas que llamaban especies y que al llegar al objeto, se produce la visión; al respecto Leonardo aceptaba la existencia de las especies, pero las llamaba poder visual, que haciendo una analogía con los fotones, diremos que Leonardo también fue el precursor de la mecánica ondulatoria moderna.

Hablando de otros fenómenos importantes de la luz, la reflexión y la refracción, Leonardo realizó experimentos que mostraron la ley de la refracción: "Todos los rayos de luz pasando a través de una distancia igual son rectos", frase escrita por Da Vinci que se encuentra en el folio 150 r-a del Códice Atlanticus, esto significa que si el medio es homogéneo no habrá refracción en los rayos de luz. Para demostrar esto, Leonardo, cernía harina de manera que quedaran suspendidas las partículas en el aire, como se describe en el Manuscrito C, folio 13v, mientras que en el Códice Arundel, folio 199v en un boceto aparece la nota "Haciendo que un garrote se rompa en el agua una mañana de domingo"; aquí Leonardo repite el experimento de Alhazén en relación a la refracción de la luz entre aire y agua.

Otra experiencia descrita por Leonardo: "Teniendo dos bandejas; paralelas una a otra, y una cuatro quintas partes más pequeña que la otra, y de igual peso. Luego encerrarlas una en la



otra como se ve en el dibujo, y pintar el exterior, y dejando descubierta una mancha del tamaño de una lenteja, y teniendo un rayo de luz del sol pasando de una a otra abertura o ventana. Luego ver si pasa o no el rayo en el agua encerrada entre las dos bandejas manteniendo la rectitud exterior". Un estudio semejante a este, realizó Tycho Brake para la refracción de la atmósfera terrestre; siguiendo con los manuscritos de Leonardo vemos la nota " Ver como los rayos del sol penetran en esta curvatura de la esfera del aire, tiene dos esferas hechas de vidrio, una dos veces en tamaño de la otra, como rodeándola. Luego cortarlas a la mitad y poner una dentro de la otra y cerrar el frente y llenarlo de agua y tener los rayos de luz solar pasando arriba. Y ver si los rayos se curvan y formar nuestra regla: entonces puede hacer un infinito número de experimentos". Y al margen dice: "Con sus ojos en el centro de la esfera, mire a ver si o no una flama de vela mantiene su tamaño". Leonardo conoció los escritos de Witelo (siglo XIII) ya que los menciona varias veces en sus manuscritos, sin embargo, a pesar de conocer la ley de la refracción le fue imposible expresarla en forma matemática, en virtud de su desconocimiento del álgebra y la trigonometría y a esto se debe que fuera Snell quién culminó con esta empresa.

Leonardo también, antes que Newton, encontró la descomposición de la luz en sus colores fundamentales, produciendo el conocido espectro solar, como se observa en sus dibujos tomados de una colección de treinta pequeños diagramas de la Biblioteca Real de Windsor. " Si colocamos un vidrio lleno de agua sobre una ventana tal que los rayos del sol peguen en el frente de otro lado, veremos la aparición de colores formados en la impresión hecha por los rayos del sol penetrando a través de ese vidrio y cayendo sobre el pavimento en la sobra del pie de la ventana, y tal que el ojo no se usa aquí, podemos dentro de la certeza decir que esos colores no son en ninguna forma debidos al ojo".

Hay infinidad de párrafos escritos por Leonardo, en donde se refiere al arco iris. " Hay muchos pájaros en varias regiones de la tierra que en sus plumas lucen hermosos colores formados al moverse, como vimos antes en las plumas de los pavos o en los cuellos de los patos y palomas, etc. También sobre la superficie de vidrios viejos lo encontramos, sobre raíces que han estado mucho tiempo en el fondo del agua, cada una de ellas desarrollará colores del arco iris; y se ve también en el aceite sobre el agua".

En relación a las tonalidades del azul en el cielo, Leonardo explica: "Digo que los azules los cuales son vistos en la atmósfera no es su color propio, pero es causado por el calentamiento de la humedad habiéndose evaporado en las más pequeñas e imperceptibles partículas (moléculas?), las radiaciones de los rayos solares causan que se vea esa luminosidad contra lo profundo, intensa oscuridad de la región del fuego que forma una cubierta contra ellas".

Nuevamente en el folio 22 del Manuscrito C del Instituto de Francia nos encontramos con que Leonardo creó los fotómetros: " Si la fuente de luz xv es igual a la fuente de luz vy, la diferencia entre las luz será proporcional a su tamaño". " Pero si la mayor luz está distante del cuerpo lanzando la sombra, y la luz más pequeña está encerrándolo, es cierto que las sombras pueden ser igualmente opacas o brillantes".

Si comparamos los fotómetros de Rumford en donde el cuerpo es una barra, con el de Leonardo, en donde el objeto es una placa pequeña, para dar la posibilidad de poder yuxtaponer dos sombras para compararlas, Leonardo construyó un fotómetro esférico.

En posteriores estudios sobre la fotometría cromática en el párrafo 916 del *Treatise on painting*, encontramos: " Aquellos quienes no quieran verdaderamente usar juicios en la reproducción

verdadera de colores de hojas deberían tomar una hoja de un árbol que quieren pintar y mezclar sus colores sobre ella, y cuando sus mezclas no pueden ser distinguidas del color de la hoja, será que su color es la verdadera imitación de la hoja".

En construcción de espejos también Da Vinci interviene como podemos leer en el Manuscrito A folio 55 r. "Espejo abrasador (parabólico) como en varias ocasiones en la punta de la pirámide; cortada en cualquier parte, está contenida en su base, como muchas veces está más caliente que su base". También en el folio 88 r del Códice Arundel, aparece el procedimiento usado para construir la sección media de un espejo parabólico; el Códice Atlanticus folio 32 r-a; también muestra como se construye un "perfil" para espejo parabólico, que nos da idea de su profundo conocimiento de las cónicas.

Pero las aplicaciones de todos estos estudios en aparatos ópticos le dan a Leonardo también el título de pionero en estos aspectos. En un lienzo de diez por quince centímetros, aparece un diagrama de un telescopio junto con un boceto de paisaje montañoso además del esquema de una cubierta en forma de concha para trabajar la pieza ocular y un escrito: "El ocular del cristal grueso en los lados una onza de una onza" y continúa "Este vidrio debe estar libre de manchas y muy claro, y en los lados, debe ser una onza de una onza de grueso, esto es un ciento cuarenta y cuatro de una ana y más delgado en el centro". En estos escritos nos describe una lente divergente colocada en el extremo de un tubo. Así mismo detalla el uso de tres herramientas necesarias en los trabajos ópticos (pelota, palangana y concha) para la fabricación de lentes cóncavas y convexas. Este telescopio fue construido entre 1508 y 1509 aproximadamente, un siglo antes del construido por Galileo.

En cuanto a sus conocimientos respecto al ojo y la visión también existen pruebas escritas en las cuales podemos basarnos para reconocer su influencia en estos estudios. " Escribir de nuestra anatomía sus proporciones, los diámetros de todas las esferas del ojo tienen cada una con la otra, y que la distancia de la esfera del cristalino es de ella" (Códice Atlanticus, folio 345 v-b) nos muestra su interés en conocer lo que los modernos oftalmólogos han ido descubriendo lentamente; pero consideremos que la desventaja de Da Vinci era la carencia de instrumentos de medición para distancias pequeñas y el que sus investigaciones se tenían que basar en estudios anatómicos solamente.

Para mostrar los conocimientos que sobre este órgano logró Da Vinci, podemos consultar su Manuscrito D, folio 3 "Un globo de vidrio cinco octavos de ana de diámetro. Cortado en un punto externo por la cara será colocado dentro de la oreja Q, luego dejado en el fondo de una caja de un tercio de ana se situará en el fondo con una apertura en el centro cuatro veces el tamaño de la pupila del ojo. En suma; será montado un globo de vidrio delgado, un sexto de ana de diámetro. Y cuando esté hecho, llenarlo con agua clara tibia y colocar nuestra cara en esta agua y mirar en el globo, y tomar nota, y mirar en este instrumento enviará la especie de este ojo como el ojo las envía a la facultad visual ", acompaña a esta explicación, un esquema del ojo con la descripción mostrando el patrón principal de rayos como él los entendió: "Se asumió aquí que la facultad es localizada en el final del nervio óptico, km diremos quizá que la facultad visual no puede verse; un objeto a la izquierda, sin el rayo de la especie de aquel objeto pasando a través del centro e de dos esferas, la esfera de la pupila k, y la esfera del humor vítreo oxytv y tal que el patrón del rayo será crvx. Entonces, la facultad visual, verá el objeto a la izquierda en su posición real excepto por medio de dos intersecciones las cuales pasan a través del eje del ojo, como ha sido probado ". Una innovación de los estudios realizados por Leonardo en este campo fue la comparación, por

primera vez del ojo con la cámara oscura, estudiada también por Da Vinci. "Un experimento mostrando como los objetos transmiten sus imágenes intersectando dentro del ojo en el humor cristalino: Esto es mostrado cuando las especies de objetos iluminados penetran en una cámara oscura por un pequeño orificio redondo. Luego recibiremos esa especie sobre un papel blanco colocado dentro de este cartón obscuro y más cerca al orificio, y veremos todos los objetos sobre el papel en su propia forma y color, pero mucho más pequeño; y serán invertidos por la razón de la intersección. Esas imágenes, siendo transmitidas de un lugar iluminado por el sol se verán pintadas sobre este papel el cual debe ser extremadamente delgado y transparente en un lado. Y la pequeña perforación hecha en una pieza muy delgada de hierro abed es el objeto iluminado por el sol y o el frente de la cámara oscura en la cual está dicha apertura, en nm. sf es el lienzo de papel interceptando los rayos de las especies de esos objetos invertidos por que los rayos son rectos, a sobre la mano derecha es k sobre la izquierda, y e sobre la izquierda es f sobre la derecha, y lo mismo tiene lugar dentro de la pupila". Todo esto escribió Leonardo en su manuscrito D, folio 8r, adjuntando un boceto para explicar mejor el texto, mismo que en 1604 fue asumido por Kepler y confirmado experimentalmente por Scheiner al remover la esclerótica y coroides de un ojo para observar la imagen invertida en el fondo del ojo.

Otro descubrimiento sobre la visión, realizado por Leonardo Da Vinci, se puede observar en la figura del Manuscrito D folio 8 verso, en donde indica el efecto gran angular de la visión; realizando un experimento con un lente de agua, pudo comprobar la cobertura de un gran campo visual como escribe en el folio 222 r-n del Códice Atlanticus. "Si tomo un hemisferio de vidrio y pongo mi cara dentro de él rodeando mi cara el borde, y lleno de agua clara, veré todas las cosas que se ven en la superficie de éste globo, tal que veré todas las cosas a su alrededor". "El ojo tiene una línea central, y todas las cosas que vienen al ojo a lo largo de

esta línea son vistas bien. Un infinito número de otras líneas al rededor de esta como su centro, las cuales son de menor valor que ella son removidas de la línea central", completa la información el Quad. Anatómico IV, folio 12v.

En cuanto a la percepción en el Códice Arundel folio 172 r, nos explica: "La facultad receptiva debe tener su sitio en el ojo. El nervio que va del ojo al cerebro es como un cordón que entreteje la piel de los cuerpos con infinitas ramas y por ellos llena los espacios que conducen al sentido común". Otra afirmación interesante respecto a la percepción visual la tenemos en el folio 138 v-b del Códice Atlanticus: "Si el ojo se requiere para mirar un objeto colocado cerca de él, no puede juzgar como ocurre con un hombre que trata de mirar su tipo de nariz. Como regla general, la naturaleza nos enseña que un objeto nunca puede verse perfectamente a menos que el espacio entre él y el ojo sea igual por lo menos a la longitud de la cara"; en otra parte del mismo Códice, folio 250 v-a, habla de la visión distante y se menciona que es del mismo orden indicando que es cuatro veces la distancia interpupilar; en el Códice Atlanticus folio 244 r-a muestra Leonardo su conocimiento respecto a defectos visuales como miopía, ametropía y presbicia, y el uso de lentes para su corrección, indicando a la vez que la presbicia se debe a falta de elasticidad en los nervios debido a la edad de la persona, aunque esto está equivocado, porque, como ahora sabemos, se debe a los músculos que controlan la convergencia binocular, pero en esa época las lentes se clasificaban de acuerdo a la edad de las personas. Algunos dibujos de personas con lentes aparecen en su Cuaderno VI, folio 6r.

Otro análisis interesante hecho por Leonardo, es referente a la irradiación, tema que se encuentra en su Treatise on painting y en su Manuscrito C, folio 6r, respectivamente. "Las cosas vistas más allá de su proporción externa, y esto es porque la porción más clara nos envíe su imagen al ojo con un rayo más poderoso que la porción oscura. Y veremos una

mujer vestida de negro con un chal blanco sobre su cabeza, aparece dos veces mayores que el ancho de sus hombros, lo cuál será por la ropa en negro". "Si el ojo mira a la luz de una vela a una distancia de cuatrocientas anas, esta luz aparecerá a este ojo mirándola como aumentada unas cien veces a su cantidad real; pero si se coloca frente de él una estaca algo mayor que esta luz esta estaca la cual debe aparecer de dos anas de ancho debe esconderla. Este error quizá viene del ojo". "El brillo de los objetos incrementa en tamaño en un campo oscuro".

La persistencia de imágenes en la retina fue un tema que interesa a Leonardo sobre manera, e incluso realizó observaciones mucho más claras en el Manuscrito K, folio 120 r, que las de Roger Bacon en su *Opus maius*. "Si el ojo mira las estrellas y voltea lentamente a la dirección opuesta, aparecerá a él que esta estrella se forma a sí misma en la línea curva de fuego..." "y esto ocurre porque el ojo preserva por un cierto espacio de tiempo la imagen de las cosas que brillan, y porque esta impresión de la radiación de la estrella es más perdurable en la pupila que fue el tiempo de este movimiento...", en otro escrito anotó Leonardo más detalles en relación con este fenómeno, tales que ha conducido a pensar que prueba el que se anticipó a las películas con movimiento.

En otro aspecto en el que, para no variar, Leonardo Da Vinci es también precursor es en el estudio de la visión estereoscópica del relieve, debido a la posición y función de los dos ojos; se anticipó a Keppler y Wheatstone. Un cuestionamiento de Da Vinci en el Códice Ashb. I, folio 10 "¿ por qué las cosas pintadas no aparecen con detalles como las cosas hechas al natural?" y la respuesta que propone : "Los pintores frecuentemente despiertan su poder de imitar la naturaleza, en percibir como sus pinturas carecen del relieve y vivacidad que poseen los objetos cuando son vistos en un espejo, como ellos alegan, tienen colores que para claridad y profundidad sobre

pasan la cualidad de la luz y sombras del objeto visto en el espejo, acusando en esto ninguna razón sino su propia ignorancia, en aquello que llegan a reconocer que es imposible pintar objetos que aparezcan con tal relieve comparable al objeto en el espejo, aunque ambos están sobre superficies planas a no ser que sean vistos por un solo ojo". "Y la razón para esto es que cuando los dos ojos ven un cosa, como en el caso de aba viendo mn, n no puede cubrir enteramente m, porque la base de las líneas visuales es tan ancha que causa ver el segundo objeto como el primero. si, sin embargo, cerramos un ojo, como s, el objeto f cubrirá sobre k, porque la línea visual establecida en un simple punto hace esta base en el primer objeto, con la consecuencia que el segundo, siendo de igual tamaño; no es visto nunca". "La habilidad para ver objetos en relieve puede significar que la visión binocular no es ilimitada, pero disminuye como la distancia de los objetos se incrementa". "El aire interpuesto entre el ojo y el cuerpo opaco, tal que es más brillante que la sombra de aquel cuerpo minando aquellas sombras, e iluminándolas, y tomando la fuerza de su oscuridad, lo cual es la razón para su pérdida de relieve".

Como podemos concluir de la transcripción de los párrafos relacionados con la óptica, escritos por Leonardo (ARGENTIERI:pp.405-436, 1956 ) y que llegan hasta nuestros días gracias a los pocos manuscritos que se agrupan en diversas colecciones, encontramos que los estudios de Da Vinci fueron punto de partida para los descubrimientos posteriores en la historia de la óptica e incluso muchas de sus ideas fueron tomadas al pie de la letra. Es verdaderamente una pérdida para el conocimiento de esta área el que no se tengan ordenados todos los documentos escritos por este hombre genial, pues quizá algunas ideas se hayan perdido para siempre.

Algunas leyes que rigen a los fenómenos analizados, no pudo concretarlas, pero sus experiencias con los efectos y causas de dichos fenómenos dieron margen a que desde los trabajos de Giovanni



Battista della Porta en espejos múltiples y combinaciones de lentes, en su *Magia Naturalis* de 1589, pasando por los inventos y descubrimientos del siglo XVII de Hans Lippershey en 1608 con su patente para un telescopio. Galileo, poco tiempo después, construyó el suyo; Zacharias Janssen (1588-1632) hizo la invención del microscopio, posteriormente modificado por Francisco Fontana (1580-1656) hasta llegar a la introducción del telescopio de Johannes Kepler, quien publica en 1611 *Dioptrice*, donde por primera vez se habla de la reflexión total interna y la aproximación de la ley de la refracción para ángulos pequeños. Así se abrió paso a Willebrord Snell (1591-1626) quien descubre en 1621 empíricamente la ley de refracción, y René Descartes (1596-1650) que formula matemáticamente esa ley; Pierre de Fermat (1601-1665) con su principio del tiempo mínimo en 1657 que, como ya se mencionó antes, fue tomado de Da Vinci; Francesco Ma. Grimaldi (1618-1663) observando las bandas de luz dentro de la sombra de una varilla iluminada por una fuente pequeña; Robert Hooke (1635-1703) con sus estudios de los patrones de interferencia generados por películas delgadas proponiendo la luz como movimiento vibratorio rápido, idea dada también anteriormente por Da Vinci, por lo cual se le considera precursor de la teoría ondulatoria; pasando por los estudios de Isaac Newton (1642-1727) quien permaneció ambivalente por un tiempo respecto a la naturaleza de la luz y experimentando con prismas, complementando en 1668 su primer telescopio reflector, que como vimos ya Da Vinci había experimentado; Christian Huygens (1629-1695) difundiendo su teoría ondulatoria, y su teoría de que la velocidad de la luz disminuye al entrar en un medio más denso, de donde obtiene las leyes de la reflexión y de la refracción, ya bocetadas en los manuscritos de varios códices escritos por Leonardo; Olaf Römer, en 1676 determina la velocidad de la luz; Leonhard Euler (1707-1783) con su propuesta para la construcción de lentes acromáticos; Samuel Klingstjerna (1698-1765) quien conjuntamente con John Dollond (1706-1761) obtienen un lente acromático en 1758; hasta llegar al siglo XIX donde renace la teoría ondulatoria de Da Vinci gracias a las investigaciones de Thomas Young en 1801, y en 1803 surge el principio de interferencia que permite explicar las franjas coloreadas en películas delgadas, ya mencionadas en los manuscritos

de Leonardo; Agustín Jean Fresnel (1788-1827) quien revive la teoría ondulatoria y concluye con los estudios de Michael Faraday (1791-1867) en 1845 sobre la interrelación entre electricidad y magnetismo y James Clerk Maxwell (1831-1879) resumiendo los conocimientos empíricos mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas; Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) verificando la existencia de esas ondas electromagnéticas, culminando con la óptica del siglo XX con los descubrimientos que llegan hasta lo actual con los descubrimientos de Jules Henri Poincaré (1854-1912), Albert Einstein (1879-1955), Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) y otros que conducen a la llamada electro-óptica.

Toda esta recapitulación (HECHT; p.p. 1 a la 11, 1986) de los avances de la óptica nos conducen a la misma conclusión, ¿qué pasaría de haberse perdido la totalidad de los manuscritos de Da Vinci? Como podemos observar, es base y fundamento de todos estos pasos hasta llegar a la construcción de un láser y el uso de las fibras ópticas.

## CAPITULO V.

**IMPORTANCIA DE LOS CONOCIMIENTOS DE LA ÓPTICA  
APLICADOS A LA PINTURA.**

En el capítulo precedente, se analizaron los estudios científicos de Da Vinci en lo referente a la óptica y cómo influyeron en los descubrimientos posteriores. Pero nos preguntaríamos ¿qué relación tiene esto con la pintura? Y es aquí donde nuevamente tendremos que utilizar las ideas de Da Vinci para hacer resaltar que para el trabajo artístico es importante conocer la luz, el color, la percepción visual y saber cómo va a influir todo esto en la creación artística.

Un pintor podríamos definirlo como un artifice de la combinación de luz y color. Otra cuestión a plantear sería ¿cómo puede aprovechar los fenómenos luminosos referentes a color, perspectiva, percepción, etc.?. Todas estas preguntas nos conducen al análisis con detalle de los conocimientos ópticos y responder así la pregunta clave de éste capítulo ¿cómo aplicarlos a la pintura?; partiendo de un artista-genio-científico o debemos decir un científico-genio-artista (porque ¿cómo es más grande Da Vinci, como científico o como artista?). Quizá esta pregunta no se pueda responder sin menospreciar alguna de sus facetas, aclarando que en cualquiera de ellas su calificación sería GENIAL, así con mayúsculas. Pero ahora solamente veremos cómo es que se pudo apoyar en sus estudios científicos para ser también un pintor de esa magnitud y tener una visión futurista tan magnífica que le hacen que después de casi medio siglo, sigan estando vigentes. Tomemos como introducción de este capítulo una frase que resume lo antes dicho tomada del Cuaderno Anatómico I folio 12r de Leonardo Da Vinci: "El hombre muere y siempre está renaciendo en parte".

De los manuscritos de Leonardo que se conservan hoy en día se pueden separar en tres tipos: los que tratan de pintura, los que tratan de mecánica y los que tratan de anatomía; siendo estos dos últimos los que ocupan mayor número de páginas en sus manuscritos, por ser los más atractivos para su autor, por corresponder a su campo de observación favorito, la naturaleza.

Leonardo durante su vida fusiona ciencia y arte, salvando las brechas que las separan y utilizando las observaciones científicas para dar efectos pictóricos más realistas. No se puede concebir una pintura con efectos de luz y sombra sin comprender un poco de ellas. No es necesario ser un especialista en óptica, sino simplemente conocer un poco de los principales fenómenos luminosos y los efectos visuales y perceptivos que pueden originar. Los cuadros de Da Vinci reflejan estos conocimientos en cada una de sus partes. ¿cómo se puede pintar un retrato, un bodegón, un paisaje, ya sea figurativo, no figurativo, abstracto o no, sin jugar con los colores y la luz? , sin conocimientos de luz, color y percepción visual, ¿cómo podemos usar estos para una creación artística?; ¿cómo se puede aplicar la perspectiva sin conocimientos de todo lo anterior?

Todas estas respuestas se resumen en Leonardo Da Vinci, un apasionado observador de la naturaleza, que no solamente observa con un afán estético, sino con una curiosidad que conjuga lo estético con lo analítico y que origina un enlace arte-ciencia indisoluble, dando como resultado un mejor uso y aprovechamiento de los recursos disponibles en el arte de la pintura, que permite transformar "mágicamente", un plano bidimensional en uno multidimensional; que transforma el reto de un lienzo limpio en una serie de formas y volúmenes generados por manchas de colores en donde la luminosidad y la sombra juegan un papel importante. Lo que crea no es producto solamente de la inspiración, sino está complementada por un amplio conocimiento respecto a lo que se va a manejar para lograrla, y no solamente un conocimiento de los materiales a utilizar, como pinceles o pigmentos, sino todo lo que conlleva, es decir, para que exista color debe haber luz, y para aprovechar al máximo esta inseparable colaboradora en el arte es necesario conocerla. Este camino abierto por los manuscritos de Da Vinci, es importante de considerarse,

especialmente en personas que se encuentran en vías de formación como creadoras artísticas. Pero es importante ir a la fuente original y beber de ella los conocimientos frescos para emplearlos en el quehacer cotidiano del artista.

Leonardo Da Vinci, en su Tratado de la Pintura. (STRATZ: 1985, p. 22) aconseja: "La práctica debe cimentarse sobre una buena teoría, a la cual sirve de guía la perspectiva; y al no entrar por esta puerta, nunca podrá hacer cosa perfecta ni en la pintura, ni en alguna otra profesión".

En sus ideas se muestran claramente los conocimientos respecto a la percepción, a la luz y al color; a continuación se transcriben algunos textos cuya importancia para el presente análisis es fundamental: "Es imposible que una cosa pintada parezca a la vista con tanto bulto y relieve, que sea lo mismo que si mirara por un espejo...La razón es, porque como los dos ojos ven un objeto después de otro..." (ibid; p. 35).

"Todo aquello que carece enteramente de luz es del todo tenebroso; siendo la noche así, cuando se tenga que representar una historia en semejante tiempo; hará un gran fuego primeramente, y todas aquellas cosas que más se aproximen a él estarán teñidas de su color; (...); y al contrario, los que se aparten del fuego tendrán su tinte más parecido a lo negro y oscuro de la noche. Las figuras que estén delante del fuego se manifiestan oscuras en medio de la claridad del fuego: (...) las que estén a los lados tendrán media tinta que participe algo del color encendido del fuego; y aquellas que se hallen fuera de los términos de la llama se harán iluminadas con color encendido en campo negro." (STRATZ: op. cit., p. 44).

"Es claro que hay aire grueso y aires sutil, y que cuanto más se va elevando de la tierra, va enrareciéndose más, y haciéndose más transparente. Los objetos grandes y elevados que se

representan en término muy distante, se hará su parte inferior algo confusa..." (ibíd; p. 48); (conocimientos sobre refracción).

"Las figuras parecerán mucho más destacadas y resaltadas de su respectivo campo, siempre que éste tenga un determinado claroscuro, ..." "Para que el campo convenga igualmente a las sombras que a las luces,(...) y al mismo tiempo haga resaltar la masa del claro respecto a la del oscuro...". "El campo sobre el que está pintado cualquier figura debe ser más oscura que la parte iluminada de ella, y más claro que su sombra." (ibíd p. 82 y 87); (conocimientos sobre reflexión y refracción).

"Los reflejos los producen los cuerpos que tienen mucha claridad cuya superficie es plana y semidensa, en la cual hirviendo los rayos del sol, los vuelve a despedir, de la misma manera que la pala arroja la pelota que da en ella". "La luz es de dos maneras, primitiva y derivativa, primitiva es la que nace de una llama; del sol o de la claridad (...). La derivativa es lo que llamamos reflejo." "Aquella parte del reflejo será más clara la que reciba la luz dentro de un ángulo más igual (...): aquella parte del cuerpo oscuro será más iluminada, que esté más próxima del cuerpo luminoso." (ibíd; p. 52) (reflexión de la luz). "Cuanto más oscuro sea el campo que confina con el reflejo, tanto más evidente y claro será éste; ... (ibíd; p.56).

"Todos los colores reflejos tienen mucha menos luz que la directa y entre la luz incidente y la refleja hay la misma proporción que entre la claridad y la causa de ella". (ibíd; p. 59) "Si quiere que un color contraste agradablemente con el que tiene al lado, es preciso que use la misma regla que observan los rayos del sol, cuando componen en el aire el arco iris, cuyos colores se engendran en el movimiento de la lluvia ". "Siempre que quiera hacer una superficie de un color muy bello, preparará el campo muy blanco para los colores transparentes, pues para los que no lo son no aprovecha nada; y esto se ve claro en los

vidrios teñidos de color, pues mirándolos delante de la claridad parecen en extremo hermosos y brillantes, lo que no sucede cuando no hay detrás luz alguna". (ibíd; p. 65) (estudios sobre la descomposición de la luz).

"Siempre que un objeto sea más oscuro que el aire, cuanto más remoto se vea, tanto menos oscuridad tendrá; y entre los que son más claros que el aire, cuanto más apartado se halle de la vista, tanto menor claridad tendrá; porque entre las cosas más claras y más oscuras que el aire, variando su color con la distancia, las primeras disminuyen su claridad, y las segundas la adquieren". (ibíd; p. 67) (refracción).

"Se puede dar el caso de que un mismo color en varias distancias no haga mutación alguna; y esto sucederá cuando la proporción de lo grueso del aire, y las proporciones que entre sí tengan las distancias de la vista al objeto sea una misma, pero inversa". (ibíd; p. 68).

"Puesto un mismo color a varias distancias y siempre a una misma altura, se aclarará la proporción de la distancia que haya de él al ojo que le mira". (ibíd; p. 69). "Si es cierto que sólo conocemos la cualidad de los colores mediante la luz, y que donde hay más luz, con más claridad se juzga el color; y que habiendo oscuridad, se tiñe de oscuro el color; sale por consecuencia que el pintor debe mostrar la verdadera cualidad de cada color en los parajes iluminados". (ibíd; p. 73).

"El aire participará tanto menos del color azul, cuanto más próximo esté del horizonte; y cuanto más remoto se halle de él tanto más oscuro será". (ibíd; p. 80). "Para que se representen en el agua las nubes y celajes del aire es menester que reflejen a la vista desde la superficie del agua con ángulos iguales; esto es, que el ángulo de incidencia sea igual al

ángulo de la reflexión". (ibíd; p. 82) (este párrafo corresponde a lo que en la actualidad se conoce como ley de la reflexión).

"El color azul del aire se origina de aquella parte de su crasicie que se halla iluminada y colocada entre las tinieblas superficiales y la tierra. El aire por sí no tiene cualidad alguna de olor, color o sabor; pero recibe la semejanza de todas las cosas que se ponen detrás de él; y tanto más bello será el azul que demuestre, cuanto más oscuras sean las cosas que tenga detrás, con tal que no haya ni un espacio demasiado grande, ni demasíadamente húmedo; y así se ve en los montes más sombríos que a larga distancia parecen más azules, y los que son más claros, manifiestan mejor su color verdadero que no el azul, de que los viste el aire interpuesto". (ibíd; p. 86). "Entre los colores que no son azules, puestos a larga distancia, aquel participará más del azul que sea más próximo al negro; y al contrario, el que más opuesto sea a éste conservará su color propio a mayor distancia" (ibíd; p. 91). "Si el vidrio fuese amarillo, podrán mejorarse o empeorarse los colores que por él pasan a la vista; (...)" (aquí observamos otra primicia óptica, adelantándose nuevamente Leonardo en el uso de filtros, como los empleados en fotografía).

Todo lo anterior nos demuestra no solo a Leonardo Da Vinci como un gran observador, sino como un profundo conocedor de la luz y sus efectos, mismos que al ser usados en la pintura ayudan a dar colorido, luminosidad, realismo y naturalidad, por lo que aún en sus consejos, plasmados en su *Tratado de la Pintura*, nos enseña óptica, para aprovecharla en nuestro quehacer artístico.

Cada vez que el artista pinta algo, como se puede observar en la obra de Da Vinci, se reflejan las observaciones analíticas del naturalista-científico que lo llevan a lograr máximos efectos de luz y color. Todo esto nos lleva a una conclusión, el binomio arte-ciencia puede considerarse



**importante por los conocimientos que se adquieren en ramas científicas que tengan aplicación en las artes visuales, facilitarán el trabajo.**

## CAPITULO VI.

### POSIBLES APLICACIONES DE LA HOLOGRAFIA EN EL ARTE.

En la revista *Mundo científico* (No. 27 publicada en 1983), se menciona que la época actual corresponde a la civilización de las imágenes, debido a que la proliferación de ellas está transformando el comportamiento de los seres humanos. La holografía es la más nueva forma de producción de imágenes; otra es la que se utilizó en el presente trabajo, mediante el uso de computadoras. Todas estas formas de producir imágenes gracias al desarrollo tecnológico de la física y la óptica, tiene sus inicios en los estudios realizados por Da Vinci, quien manejaba los conceptos de perspectiva dándoles una importancia capital, como se puede observar en su producción artística.

La predominante importancia que siempre han tenido las imágenes se refleja en la frase anotada por Serge Moscovici, en su artículo *La revolución "icónica"*, que dice: "¡ El poder de la imagen es también la imaginación al poder!". En la historia de la humanidad encontramos un gran número de reproducciones de objetos, especies animales o vegetales en diversos materiales, técnicas y tendencias artísticas del hombre, desde las primitivas pinturas en las cavernas de la prehistoria, hasta las más modernas tendencias del arte contemporáneo. Esto muestra que las imágenes han desempeñado un papel esencial en la vida del hombre, incluso en los procesos más abstractos; Einstein, por ejemplo, declaró llegar a sus invenciones auxiliándose de la asociación icónica de figuras que su poderoso pensamiento científico abstraía.

Se puede resumir esto en dos puntos importantes: primero, que el ser humano prefiere la imagen a otros signos, segundo, según dice Moscovici, porque el tiempo de mostrar es más poderoso pero más breve que el tiempo de demostrar. Consecutivo de la época de la productividad

mecánica, de las ciencias y de las artes, ha llegado el de la inmensa productividad de los signos icónicos.

Son las imágenes de tal importancia que se puede considerar como un lenguaje que proporciona una mediación abierta a todos, no es cerrada en sí misma, sino por el contrario se abre a todos irradiando hasta encontrar un ojo abierto a la percepción. Junto con las imágenes tenemos el retorno de su inseparable compañera la luz en sus matices de color y como decía Cézanne, "cuando el color está en abundancia, la forma está en su plenitud".

Michel Henry en su artículo *La formación óptica de las imágenes*, dice: "junto con la conquista del fuego, la reproducción de objetos es uno de los hitos más importantes del despertar de la humanidad". Una imagen podemos decir que se forma en dos tiempos, la obtención de información y su ordenación. Mediante la luz se obtiene y transporta la información que encierra el objeto, modificando sus características (intensidad, color, etc.); si todos los elementos no se ordenan, jamás se obtiene una imagen. La forma más antigua de ordenar la información es mediante el dibujo o la tipografía, que agrupan elementos uno después del otro. Este mismo método emplean actualmente las formas de transmisión de imágenes por televisión, radar o computadoras.

En 1948, D. Gabor descubre el principio de la holografía, que permite primero grabar y luego visualizar con su relieve íntegro los objetos que constituyen nuestro entorno, define Jean Bulabois y Gilbert Tribillon en su artículo *Las imágenes en tres dimensiones*.

La holografía es un proceso fotográfico, pero su obtención es de manera diferente, en ella interviene la naturaleza ondulatoria de la luz. A diferencia de la emulsión fotográfica que es sensible a la intensidad luminosa, sin intervenir en nada la otra cualidad de la luz, la fase. Esta

idea originalmente desarrollada por D. Gabor, es llamada holograma, lo que significa grabación completa. Para poder observar estas imágenes es necesario realizar una operación llamada "restitución". En 1964, Leith y J. Upnieks presentaron los primeros hologramas de objetos tridimensionales, utilizaron una fuente luminosa llamada láser, esta fuente tiene unas características muy especiales en lo que a la radiación emitida se refiere. Es una luz monocromática, intensa y coherente. "La radiación emitida por un láser se divide en dos haces por medio de una lámina separadora, uno de ellos ilumina el objeto a holografar mediante una óptica apropiada, mientras que un espejo dirige el segundo sobre la placa fotográfica. El registro del fenómeno de interferencias creado por la superposición de la luz difundida, reflejada y la difractada por el objeto, y la luz reflejada por el espejo ( haz de referencia) constituye el holograma del objeto tridimensional". (BULABOIS, 1983, P. 734).

Pero, es importante para comprender lo anterior, entender en primer lugar que es el láser y como funciona. La palabra LÁSER, proviene de la inicial de la palabra en inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). El láser surge cuando Einstein estudió el fenómeno de emisión estimulada en los átomos (un átomo recibe una longitud de onda igual a la que puede emitir); posteriormente los estudios sobre bombeo óptico de Alfred Kastler, basándose en técnicas de resonancia óptica que permiten subir el nivel energético de los átomos; es decir que los electrones suban al nivel deseado, utilizando efectos de resonancia óptica, lo que hizo posible que Kastler obtuviera el premio Nobel de física en 1966.

Otra aportación que permitió el descubrimiento del láser, fue en 1951 cuando coincidieron Charles H. Townes y Arthur Schawlow en una reunión científica; Townes se preocupaba por encontrar un método para producir ondas de radio muy corta, y descubrió el método de producir

las llamadas microondas usando el fenómeno de la emisión estimulada, basándose en los estudios de Einstein y de Kastler, construyendo junto con Herbert Zeiger un dispositivo llamado máser.

En 1964 otros dos científicos, Nicolai G. Basov y Aleksandr M. Prokhorov, obtuvieron el premio Nobel de física por llegar a las mismas conclusiones en forma independiente a los anteriores. Finalmente Theodore H. Maiman logró construir el láser en 1960 en los laboratorios de la compañía aérea Hughes, en California. Pero después de este breve recorrido histórico para conocer como surgió el láser, tratemos de explicar qué es, para esto transcribiremos lo que dice Daniel Malacara en su libro *Óptica tradicional y moderna* " El láser es simplemente una fuente luminosa con dos propiedades muy especiales e importantes de su luz, que técnicamente reciben los nombres de coherencia espacial y coherencia temporal." La coherencia espacial se logra haciendo la fuente tan pequeña que llegue a ser puntual, la luz láser tiene una coherencia espacial casi perfecta, pero en este caso, la intensidad de la luz no se sacrifica. La segunda propiedad, es decir la coherencia temporal se relaciona con la cantidad de colores que emite la fuente luminosa en forma simultánea. Se debe de tratar de reforzar el color que se desea obtener sin eliminar los colores no deseados, de tal manera que sea monocromático y se dirá entonces que tiene coherencia temporal. Recordando que la luz es un fenómeno ondulatorio electromagnético, con alta frecuencia y por tanto longitud de onda corta, el decir que la fuente era muy pequeña para lograr la coherencia espacial era con referencia a la longitud de onda.

En relación al funcionamiento del láser, en forma breve, se sabe que un electrón sube a un nivel mediante la absorción de energía, si constantemente se repite este mecanismo, éstos caerán en forma espontáneamente al estado inferior emitiendo para ello en forma de luz la energía que habían absorbido, esto es lo que se conoce como "bombeo óptico"; otra forma de emisión de luz, es la llamada "emisión estimulada", si un electrón está en un nivel superior y recibe un fotón con la misma frecuencia que emitiría para bajar de nivel, el átomo se desestabilizará, emitiendo en

forma inmediata luz (fotón). Para hacer este proceso en forma continua, se coloca un espejo semitransparente a la salida, el cual regresa parte de los fotones que salen, y provoca así la emisión estimulada. En la entrada se encuentra un espejo reflector. (MALACARA, 1989, p.p.59 a 71).

Después de conocer el láser, retomando lo referente a la holografía, este aspecto artístico de la utilización de láser, tiene mucho campo de acción tanto en la publicidad, como en el arte, debido a que los hologramas provocan curiosidad, sorpresa y además por la fidelidad de las copias producidas. En el terreno educativo estas imágenes ofrecen posibilidades complementarias tanto en la historia del arte como en archivos, clasificación y realización de copias. (BULABOIS, 1983, p. 745).

Existen diferentes tipos de hologramas, este tipo de formación de imágenes ha tenido muchos progresos impresionantes en muy corto tiempo debido a la cantidad tan amplia de aplicaciones encontradas; aunque todos ellos tienen el mismo principio, los principales tipos son:

1) **Hologramas de Fresnel** son los más sencillos, en base al método inventado por " Leith y Upatnieks para elaborar hologramas consiste en iluminar con el haz luminoso de láser, el objeto cuya imagen se quiere registrar. Se coloca después una placa fotográfica en posición tal que a ella llegue la luz tanto directa del láser, o reflejada en espejos planos, como la que se refleja en el objeto cuya imagen se desea registrar. Al haz directo que no proviene del objeto se le llama haz de referencia y al otro se le llama haz del objeto. Estos dos haces luminosos interfieren al coincidir sobre la placa fotográfica. Estos hologramas son más reales e impresionantes, pero tienen el problema de que sólo pueden ser observados con la luz de un láser." (MALACARA, 1989, p.p. 96 y 99)

2) **Hologramas de reflexión.** Fueron inventados por Y.N. Denisjuk en la exunión soviética, a diferencia de los anteriores en que el haz de referencia, al tomar el holograma, llega por la parte posterior y no por el frente, estas imágenes tienen la ventaja de que pueden observarse con una lámpara de tungsteno común y corriente. Al tomar el holograma se requiere ausencia total de vibraciones, mucho más que en el caso anterior.

3) **Hologramas de plano imagen.** Es aquel en el que el objeto se coloca sobre el plano del holograma, no físicamente. La imagen real del objeto, formada por una lente, espejo u otro holograma, es la que se coloca en el plano de la placa fotográfica. Al igual que los de reflexión se pueden observar con una fuente luminosa ordinaria, pero requiere láser para su exposición.

4) **Hologramas de arco iris.** Inventados por Stephen Benton, Polaroid Corporation en 1969, no solamente son capaces de reproducir la imagen del objeto, sino que reproducen la imagen real de una rendija horizontal sobre los ojos del observador. A través de esta imagen, se observa el objeto holografiado. El haz de referencia debe estar colocado en la parte inferior del objeto. La imagen puede observarse iluminando el holograma con luz blanca de lámpara incandescente común.

5) **Hologramas de color.** Esto se logra usando varios láseres de diferentes colores tanto durante la observación como durante la exposición, pero estas técnicas son complicadas y caras, siendo la fidelidad de colores no muy buena.

6) **Hologramas prensados.** Son generalmente de plano imagen o de arco iris, para que se pueden observar con luz blanca ordinaria. Para obtenerlos se registra la imagen sobre una capa de resina fotosensible (Fotoresist), depositada sobre una placa de vidrio. Al ser expuesta a la luz la placa se ennegrece, mientras que la capa fotosensible se adelgaza en esos puntos, esto es suficiente para

difractar la luz y poder producir la imagen. Es decir, la información holográfica no queda grabada como franjas de interferencia oscuras, sino como surcos microscópicos.

El holograma se recubre posteriormente de fotoresist, mediante un proceso químico o por evaporación de Níquel; en seguida se separa el holograma, quedando la película metálica con el holograma grabado. Finalmente se prensa por calor para imprimir el holograma en la superficie metálica, sobre una película plástica transparente, lo que da lugar al holograma final. Este proceso es útil para producir hologramas en grandes cantidades.

7) **Hologramas de computadora.** Las franjas de interferencia se obtienen con objetos imaginarios o reales, calculados mediante una computadora, mostrados en una pantalla y luego fotografiados, esto sería un holograma sintético. Su desventaja es que no es sencillo para objetos muy complicados, su ventaja es que se pueden representar cualquier objeto imaginario. Esto se usa mucho en interferometría (generar frentes de onda de forma cualquiera y alta precisión).

Una aplicación de la holografía como se dijo anteriormente es en la publicidad, por ser muy llamativa; pero otra forma de utilizarla es en la exhibición de piezas de museo de mucho valor o por su antigüedad que sean irremplazables, pudiéndose hacer con tanto realismo que ni un experto notaría la diferencia.

Un trabajo espectacular realizado con fines médicos, pero que podía ser aplicado en la creación artística, es el realizado por el Doctor Jumpci Tsujuchi, quien obtuvo una serie de imágenes de rayos X de una cabeza de una persona viva, tomadas desde muchas direcciones (tomografía). Todas ellas las sintetizó en un holograma, mediante un método óptico, y al ser iluminado con una lámpara ordinaria producía una imagen tridimensional del interior del cráneo. También se puede obtener la imagen tridimensional de una persona, lo cual resulta de una belleza y naturalidad



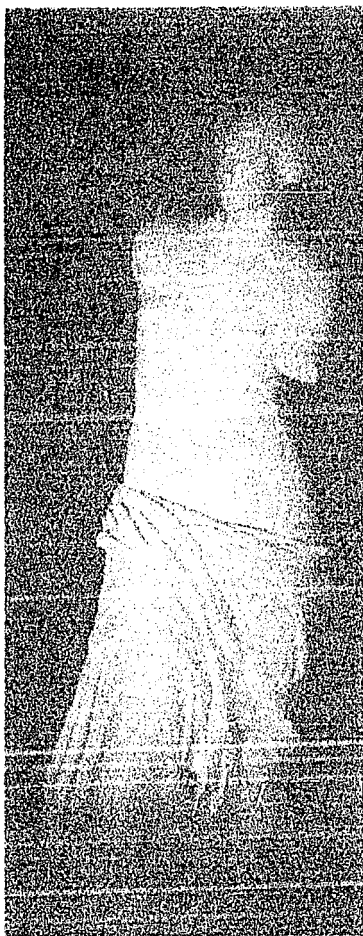
increíble. El problema fundamental de esta técnica-arte es el alto costo, debido sobre todo al equipo requerido.

Para mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes ciertos detalles se emplea lo que conocemos como procesamiento de imágenes. La imagen obtenida ya sea fotográficamente, o electrónicamente, empleando monitores de televisión. Este procesamiento puede llevarse a cabo por métodos ópticos o digitales, aunque ambos tienen el mismo principio matemático, el teorema llamado de Fourier, de quien Lord Kelvin dijo: "El teorema de Fourier no solamente es uno de los resultados más hermosos del análisis moderno, sino que además se puede decir que proporciona una herramienta indispensable en el tratamiento de casi todos los enigmas de la física moderna." Este teorema afirma que una gráfica o función, cualquiera que sea su forma se puede representar con alta precisión dentro de un intervalo dado, mediante la suma de una gran cantidad de funciones senoidales con diferentes frecuencias. Es decir, cualquier función, sea o no periódica, se puede representar por una superposición de funciones periódicas con diferentes frecuencias. (MALACARA, 1989, p.p 96 - 109)

La variación de brillo de una imagen, se puede medir en cualquier dirección siendo una función que se puede representar mediante el teorema de Fourier, con una suma de distribuciones senoidales de varias frecuencias, al modificar alguna de estas componentes puede dar un efecto en la calidad de la imagen, mejorándola o empeorándola. En esto se basa el procesamiento de imágenes.

El procesamiento óptico se establece desde el siglo XIX, al desarrollarse la teoría de la difracción de la luz, pero su aplicación es relativamente nueva, proviene de los sesenta, al descubrirse el láser. Se basa este procesamiento en el hecho de que la difracción de una transparencia colocada en el plano focal frontal de una lente es una distribución luminosa que representa la distribución de Fourier que componen la imagen, llamada transformada de Fourier.

Para el procesamiento digital, al igual que en el caso anterior, se desarrolla a partir del surgimiento de las computadoras con gran capacidad de memoria, donde se inició el uso de este procesamiento fue en el Jet Propulsion Laboratory, para mejorar las imágenes enviadas por los cohetes. Consiste este procesamiento en dividir la imagen en un arreglo rectangular de elementos, cada uno se conoce con el nombre de pixel. A cada pixel se le asigna un valor numérico de luminosidad, con las coordenadas que indican su posición, definiendo la imagen; se almacenan en la memoria de la computadora. Al alterar estos valores, mediante transformaciones matemáticas, se puede hacer que resalten ciertos detalles de la imagen que sean necesarios. Finalmente se pasan estos píxeles a una representación mediante un monitor de televisión de alta definición, que mostrará la imagen procesada. La utilidad de estos procesamientos abarca muchos campos.



HOLOGRAMA

## CAPITULO VII

### LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Las fibras de vidrio se utilizan para conducir luz, su industrialización se debe a las investigaciones realizadas en la década de los cincuenta en Gran Bretaña y los Estados Unidos. En 1970 la Corning Glass fabricó un vidrio extremadamente fino, que tenía la cualidad de evitar las pérdidas de luz y que por lo tanto permite sea usado en telecomunicaciones. "Las fibras transmiten las señales moduladas de un diodo electroluminiscente o láser, que se lee en el otro extremo mediante un fino cabello de vidrio de 100 a 400 micras de diámetro, constituido por un núcleo y una funda de índice de refracción más débil. La luz es conducida al interior de la fibra mediante reflexiones sucesivas que son proyectadas sobre las paredes de la funda." (ANG, 1991, p. 548)

Una misma fibra es capaz de transportar simultáneamente varios trenes de ondas luminosas con longitudes de onda diferente. En telecomunicaciones, se mejora la calidad de transmisión, restituye más de la mitad de la intensidad luminosa al cabo de 1 km, la insensibilidad de las fibras respecto a los parásitos electromagnéticos permite que sean altamente confiables para enlaces entre computadoras y periféricos.

Existen casi 250 sociedades que en la actualidad se dedican a las fibras ópticas, siendo las más importante la Corning Glass, con las principales patentes de fibra de sílice, una producción de más de 100 000 km anuales. Gracias al descubrimiento de las fibras ópticas, es posible que el teléfono se convierta en un visófono.

Gracias a las matemáticas de Huygens ya en el siglo XVII se pudo demostrar que si la luz va de una sustancia que tiene un alto índice de refracción a otro cuyo grado de refracción sea bajo, la desviación es tal que ni un solo rayo escapa y la reflexión es absoluta, esto se conoce de reflexión interna total, y la mejor manera de explicarlo es mediante varillas de fibra de vidrio. Al penetrar la luz en el extremo de una de ellas, no brilla por la pared del tubo, sino que es reflejada hacia el interior. Esto se repite zizagueando a lo largo del tubo, hasta que sale por el otro extremo, pudiendo lograrse que la luz doble una esquina.

En el fenómeno de refracción, es importante considerar también el color de la luz, si se tienen dos rayos, uno rojo y uno azul, se lanzan en ángulos iguales contra un cristal grueso de caras paralelas, el efecto será diferente, el azul se desviará más que el rojo. Todo esto se logró gracias a los descubrimientos de Newton, que como ya se ha dicho antes, se basó en los estudios realizados por Da Vinci. (DUBOS, 1974, p. 33).

John Tyndall en 1884, mostró que la luz al propagarse en un medio con alto índice de refracción, es incapaz de penetrar en un medio con menor índice de refracción, si incide con un ángulo muy pequeño. Este fenómeno es conocido como reflexión total interna y es la base del funcionamiento de las fibras ópticas, ya que permite que la luz permanezca en el interior del medio de mayor índice de refracción. (NEROU, 1991, p. 28).

De acuerdo a lo anterior, podemos definir una fibra óptica como: un filamento de alto índice de refracción rodeado de una envoltura de menor índice de refracción, por ser el filamento de forma cilíndrica, las bases del cilindro recibirán el nombre de caras de salida y de entrada dependiendo si la luz incide o emerge del filamento. El eje de simetría del filamento se llama eje de simetría. Gracias a la reflexión total interna la luz se puede propagar, en virtud de que el índice de refracción de la envoltura y el de la fibra es diferente, siendo mayor el de la fibra.

Existen tres tipos de fibras ópticas: huecas, líquidas y sólidas. Las fibras ópticas múltiples consisten de paquetes de filamentos muy pequeños que se apilan en "paquetes", capaces de conducir la luz. El desarrollo de esta tecnología se orienta a vencer tres dificultades principales: 1) El espesor del filamento; 2) Las características ideales de la envoltura y 3) El poder de resolución de los paquetes de fibras.

Inicialmente en la formación de los paquetes, se apilaban los filamentos con una proximidad tal que se producía lo que se conoce como "fugas de luz" en las que un rayo que incide con el ángulo crítico de la interfase en lugar de sufrir reflexión total interna, sigue su trayectoria ya que la separación entre dos filamentos contiguos es tan pequeña que pareciera no existir interfase; este problema fue resuelto por Von Hill en 1953 añadiendo una envoltura a cada filamento con un espesor igual a la mitad de la longitud de onda de la luz transmitida por el paquete de filamentos.

Un problema interesante a resolver es la calidad de la imagen obtenida por este medio óptico; es decir cuál es el poder de resolución. Las fibras ópticas únicamente transmiten la imagen, no son capaces de formarla; un paquete de filamentos, cada uno transmite una porción del objeto y mientras más cerca se encuentre el objeto, el filamento transmite una porción menor aun cuando sea más clara dando la impresión del efecto llamado mosaico, lo que no le imprime nitidez a la imagen. Por eso el poder de resolución (discernir pequeños detalles), es el mayor problema a vencer por la actual tecnología, aunque cabe mencionar que al obtener fibras ópticas cada vez más delgadas, la resolución mejora en alto grado. Para aumentar el poder de resolución y por ende la calidad de la imagen se pueden usar varios sistemas: Vibración transversal, vibración de la imagen, haces inestructurados o eliminación espectral.

Estos métodos consisten, los dos primeros, en el llamado fenómeno de persistencia del estímulo; es decir, la imagen retiniana en que se basa el cinematógrafo y la televisión: un fenómeno no produce un estímulo instantáneo en la retina, sino que va en aumento desde cero a un máximo,

para posteriormente fijarse en un valor inferior al máximo mientras dura el estímulo; éste, al desaparecer la sensación sufre un incremento ligero y desaparecer posteriormente en forma gradual (aproximadamente un décimo de segundo). "Las imágenes se ligan de 20 a 24 fotografías por segundo, para el primer caso y de 30 a 33 para el segundo", las imágenes se pueden ligar en forma imperfecta a partir de los 8 cuadros por segundo. (RODRIGUEZ, 1983, p.p . 60 -66).

La vibración transversal consiste en mover tanto la entrada como la salida del paquete de fibras ópticas, por desplazamientos transversales con frecuencia de vibración determinada y superior a la crítica del centelleo del ojo humano; la vibración de la imagen, es la imagen de un sistema óptico convencional, en la entrada, la que vibra y el paquete de fibras se encuentra estático; el método de haces inestructurados, consiste en colocar microentes convergentes de radios de curvatura seleccionados de forma tal que cada rayo al atravesar la lente, caiga en la cara de entrada de la fibra correspondiente, y la luz del objeto se puede transmitir y finalmente el método de eliminación espectral, es un medio óptimo para eliminar el carácter de mosaico de las imágenes, consiste en hacer pasar la luz de un objeto por una lente convergente que lleva la luz del objeto hasta un prisma que dispersa la luz en los colores que la componen llegando hasta otra lente convergente que propaga el haz de colores de manera que su viaje sea paralelo e incidan perpendicularmente en la entrada del paquete de fibras. De esta manera cada color de un punto del objeto entra por un filamento en tanto que otro color pasa por un filamento distinto; frente a la cara de salida del paquete de fibras, se coloca un dispositivo igual a de entrada pero inverso para que reconstruya la imagen con una calidad insuperable.

Las aplicaciones de las fibras ópticas son muchas actualmente, pero a cada aplicación le corresponde un tipo diferente de fibra, dependiendo de la cualidad que se desee explotar, por lo que podemos decir que se clasifican en: fibras ópticas para transmisión de luz (fines de iluminación) pero sin transmisión de imágenes, como las usadas en las plumas luminosas, sondas

luminosas, fotómetros e iluminación en general; fibras que transmiten luz ordenadamente con el fin de transmitir imágenes, como las que se usan en los endoscopios médicos y todos los tipos de agujas microscópicas y las fibras que transforman y transmiten la información luminosa desorganizada, usadas en la aceleración de partículas y en la telefonía; y, por último, las que codifican y decodifican la información de imágenes. Algunas fibras ópticas son capaces de amplificar las imágenes o minificarlas, permiten concentrar o difundir la luz. (RODRIGUEZ, 1983, p.p. 66 -70).

Resumiendo, podemos decir que las fibras ópticas son formadas del vidrio más puro, en ocasiones tan delgadas que son la décima parte del grueso de un cabello humano, tan funcionales que desplazan los cables de cobre empleados en teléfono y televisión; tan transparentes que se puede ver a través de un bloque de 20 km de grosor. La información enviada a través de ellos viaja a una velocidad mayor que en los tradicionales de cobre, pero se transportan en forma de destellos luminosos, el espacio que ocupan es menor que el de los cables de alambre. Tanto el sonido, como imágenes e información proveniente de computadoras pasan por un mismo cable, y las señales no se desvanecen con facilidad como ocurre en los de cobre, ahorrándose los amplificadores de señales. Al penetrar la luz en el extremo de la fibra, es reflejada en el interior de ella unas 16400 veces por cada metro, el núcleo interno de la fibra canaliza la luz evitando que escape, el revestimiento capaz de reflejarla hasta el núcleo. Las fibras ópticas más finas se llaman monomodales, transmiten la luz en forma de un solo patrón ondulatorio; por lo que la señal recorre hasta 190 km sin amplificarse. Las más gruesas se llaman multimodales, se transmiten hasta 1000 patrones ondulatorios a diferentes intervalos, pero se pierde un poco de luz, siendo necesario amplificarlas cada 16 km.

En teléfonos donde se usan fibras ópticas, la corriente eléctrica que produce el teléfono, debido a las vibraciones de la voz, llega a un codificador; la intensidad de corriente es medida unas 8000



veces por segundo y son convertidas en señales eléctricas digitales (0 y 1). La transmisión de luz se hace por un láser, semiconductor que produce luz infrarroja. Las señales eléctricas provocan que el láser se prenda y se apague rápidamente, produciendo pulsaciones luminosas, que pasan por la fibra óptica a través de una lente (por una fibra se transmiten por lo menos 2 400 millones de bits, es decir dígitos binarios, por segundo que equivalen a unas 32000 conversaciones telefónicas simultáneas). El intercalar muchas llamadas por medio de las fibras ópticas se conoce como multiplexing.

En el extremo de la fibra óptica que funciona como receptor, las pulsaciones luminosas son captadas por un fotodetector, que las convierte de nuevo en señales eléctricas enviándolas al decodificador que las lleva de nuevo a la bocina telefónica. El primer cable trasatlántico de fibras ópticas entró en operación en 1988, el TAT-8, con una capacidad de casi 40 000 llamadas telefónicas simultáneas.

Las fibras ópticas combinadas con los avances técnicos en láser y las computadoras pueden dar origen a una nueva revolución artística en donde las imágenes obtenidas por estos medios ópticos hagan del arte por computadora una realidad virtual. Además, el poder observar un rayo de luz láser transmitido a través de una fibra óptica, es un espectáculo muy bello, ya que en la obscuridad que rodea a la fibra ver el camino iluminado por el rayo de luz; y si se maneja con diferentes colores, puede originar un espectáculo de belleza inigualable.

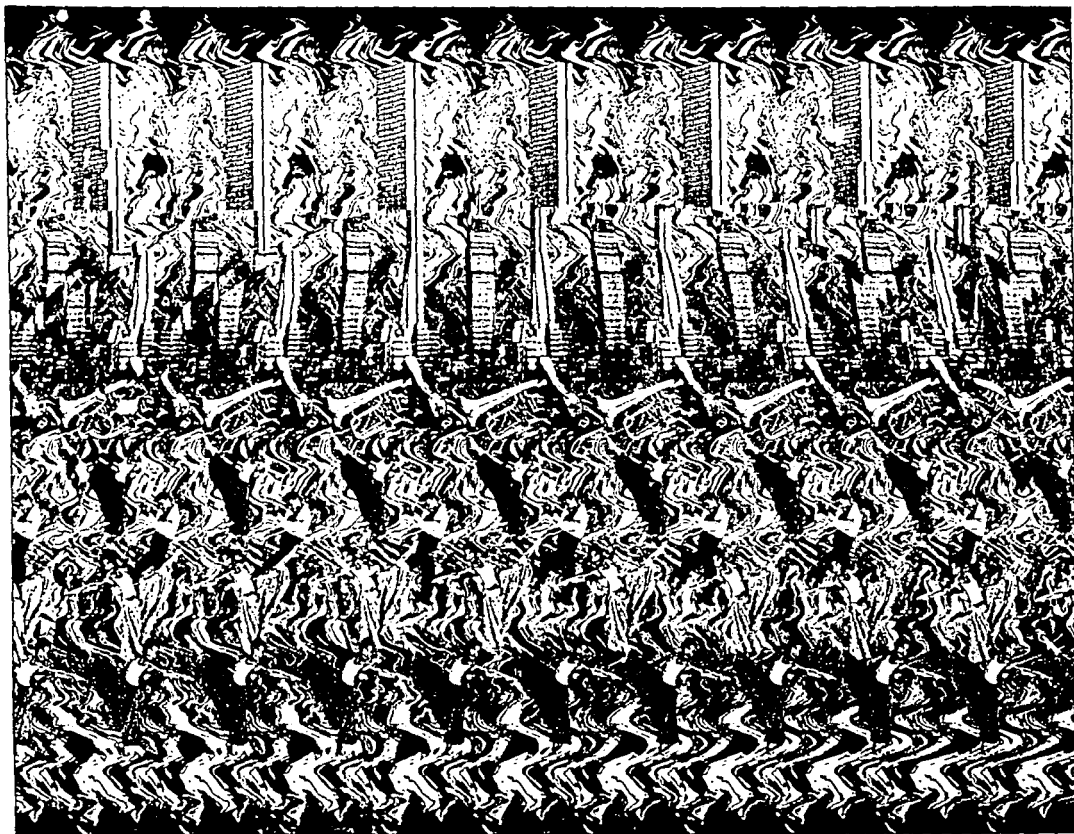
Los principales campos de aplicación de las fibras ópticas son numerosos, siendo los principales: Telefonía; televisión (por cable, enlaces cámara-estudio, teleconferencias, sistemas de seguridad); informática (enlaces entre computadoras, enlaces entre computadoras y periféricos, conexiones de material de oficina, enlaces internos de material informático); control de procedimientos e instrumentación (controles nucleares, instrumentación de medida y control); y área militar

(comunicaciones tácticas, aviación y marina). Sin embargo al ser este campo novedoso, cada día se descubren nuevas aplicaciones. (NEROU, 1991, p.p. 32 y 33).

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



FIBRAS ÓPTICAS.



## ANEXO I

## ÍNDICE DE MANUSCRITOS DE LEONARDO DA VINCI.

(RICHTER, Vol. I, 1970, p.p.5 a 7).

El libro de Richter, cuyo título en inglés es: *The notebooks of Leonardo Da Vinci compiled and edited from the original manuscripts*, editado por Dover Publications, en las páginas 5 a la 7 contiene un índice de losmanuscritos existentes en la actualidad realizados por Leonardo Da Vinci. Ese índice nos permite conocer la descripción de los manuscritos, mostrándonos el tema del que trata en forma breve; el año en el que se considera que fue realizado cada manuscrito; la biblioteca en la que actualmente se encuentra cada uno de ellos y la clave que nos permite localizarlos en los anaqueles de dichas bibliotecas diseminadas en el mapa de Europa. Para mayor claridad al realizar la traducción se recomendaron las columnas en el orden mencionado.

DESCRIPCIÓN DEL MANUSCRITO	FECHA	LUGAR	CLAVE DEL MANUSCRITO
Fragmento del primer tratado sobre anatomía.	1489	Biblioteca	W. An. I. Real,Windsor.
Tratado sobre luz y sombra.	1490 1491	Instituto de, Francia.	C.
Volumen enrollado, marcado 1875/1, en la biblioteca de Lord Ashburnham.	1490.	Ashburnham.	Ash. II Sussex.
Fragmento del Libro di Pittura marcado 1875/2, en la biblioteca de Lord Ashburnham.	1492	Ashburnham,	Ash. I Sussex.

Fragmento, trata de varios temas.	1492	Instituto de Francia.	A.
Cuaderno, marcado III.	1493	Biblioteca Sur Kensington Museo, Londres.	S.K.M.III.
Cuaderno, la tercera parte de el volumen, marcado H.	1493 1494	Instituto de Francia	H.3
Cuaderno, la segunda parte de el volumen marcado H.	1494 Enero	Instituto de Francia.	H.2
Cuaderno, la primera parte de el volumen marcado H.	1494 Marzo	Instituto de Francia.	H.1
Cuaderno, la segunda parte del volumen, marcado II.	1493	Biblioteca Forster, Londres.	S.K.M.II.2
Cuaderno, la primera parte del volumen, marcado II.	1495	Biblioteca Forster, Londres.	S.K.M.II.1
Cuaderno, la segunda parte del volumen, marcado I.	1497	Instituto de Francia.	I.2

Cuaderno, la primera parte del ? volumen, marcado I.	1497	Instituto de Francia.	I.1
Estudios sobre la proporción de la figura humana, hojas sueltas.	1490 1495	Biblioteca Windsor.	W.P.
Tratado sobre anatomía del ca- ballo, hojas sueltas.	1490 1495	Biblioteca Windsor.	W.H.
Segundo tratado sobre anatomía hojas sueltas.	1490 1500	Biblioteca Windsor.	W.An.II.
Encuadernado, original, marcado L.	1500	Instituto de Francia.	L.
Colección de mapas.	1502	Biblioteca Windsor.	W.M.
Tratado sobre Estereometría, primera parte de un volumen, marcado I.	1505	Biblioteca Forster Londres.	S.K.M.I.1
Segunda parte del volumen, marcado I.	1505	Biblioteca Forster	S.K.M.I.2

Encuadernado, original, marcado F.	1508	Instituto de Francia.	F.
Colección de tratados y notas del volumen, marcado: Arundel	1509 Abril	Musco Britá- nico.	Br. M.
Tercer tratado sobre anatomía, hojas sueltas en gris y azul.	1513	Biblioteca	W.An.III. Windsor.
Encuadernado, original, marcado E.	1513 1514	Instituto de Francia.	E.
Encuadernado, original, marcado G.	1515	Instituto de Francia.	G.
Encuadernado, original, marcado M.	1515	Instituto de Francia.	M.
Volumen que trata sobre varios temas, posesión del Marques G.	1497 1516	Palacio Trivulzi	Tr.
G. Trivulzio.		Milán.	
Volumen, conteniendo principal- mente observaciones científicas	1500 1516.	Biblioteca Leicester Norfolk.	Leic.



Volumen tratando sobre varios temas, encuadernado original.	1490 1516	Conde Manzoni Roma	Mz.
Tratado sobre el ojo, encuadernado original, marcado D.	1490 1516	Instituto de Francia	D.
Cuaderno, formando la primera parte del volumen, marcado K.	1504	Instituto de Francia	K.1
Cuaderno, formando la segunda parte del volumen, marcado K.	1504	Instituto de Francia	K.2
Cuaderno, formando la tercera parte del volumen, marcado K.	1504	Instituto de Francia	K.3
Cuarto tratado de Anatomía, hojas sueltas.	1515	Biblioteca	W.An,IV Windsor
Colección de hojas sueltas en el volumen (Fragmento de Leoni's collection)	1490 1516	Biblioteca Windsor	W.L.
Hojas sueltas, montadas.	1490 1516	Biblioteca Windsor	W.
Volumen, comúnmente llamado	1483	Biblioteca	C.A.

Codex Atlanticus, 395 folios, cada uno contiene uno o más MS-láminas.	1518	Ambrosiana Milán.	
Cinco hojas sueltas.	Incier- to.	Biblioteca Real Turín	Trn.
Dos hojas sueltas.	1473 1478	Galería Uffizi Florencia.	F.U.
Cinco hojas sueltas.	Incier- to.	Academia de Venecia	V.
Una hoja	"	Galería en la Biblioteca Ambrosiana.	Mi. A.
Una hoja	"	Biblioteca Ambrosiana	Mi. A.R.
Una hoja	Incier- to.	Pinacoteca Munich.	Mch.
Una hoja, marcada No. 2260	"	Louvre París	P.V.
Una hoja (previamente en la	Incier-	Colección de	P.L.

coleccion del rey de Holanda)	to.	dibujos del Louvre.
Una hoja	"	Colección de P.A. dibujos, M. Armand, París.
Dos hojas sueltas	Incier- to.	Museo Británico Br.M.P. Printroom.
Uno hoja	"	Colección de Th. A.W. Thibaudau, Esq. Londres.
Una hoja	"	Colección de A. Mo. Morrison, Esq.
Una hoja (previamente en la Colección de Henry, Príncipe de Holanda).	"	..... P.H.N.
Cinco hojas	"	Langton, B.H. Berkshire, residencia del Hon. Mr. Baillie Hamilton.

Dos hojas	Incier- to.	Biblioteca de Christ Church College, Oxford.	Ox.
Una hoja	1507	Archivo Palatino, Modena.	Md.
Tratado sobre Mecánica, Arqui- tectura, por Fco. di Giorgio, con notas de Leonardo (sobre diferentes páginas).	Incier- to.	Ashburnham Sussex	Ash.III

## ANEXO 2

### LA COMPUTADORA Y EL ARTE.

En virtud de que para la elaboración de las figuras del Capítulo II, se utilizó en su reproducción un equipo periférico de computadora conformado por un escáner, es importante añadir el uso de este equipo indicando sus posibilidades para el artista y la creatividad.

El equipo usado consta de una computadora 486 y sus periféricos (un escáner de hoja completa, una impresora de chorros de tinta y una impresora láser); para la reproducción de los manuscritos originales de Da Vinci. Es interesante conocer un poco de estos aparatos que nos muestran nuevamente los avances científicos de nuestra época y entender cómo podemos usarlos en la creación artística.

Podemos decir que una computadora es una máquina para procesar información a base de un código binario; pero estaría incompleta sin imágenes. Para introducir estas imágenes impresas en papel a la computadora se usan los escáneres. Por tanto se puede decir que un escáner es un dispositivo externo de entrada de datos, su función es digitalizar documentos (leer cada punto que forma la imagen impresa y transformarlo en información en lenguaje accesible a la computadora en forma de bits). Su funcionamiento se basa en principios ópticos:

1) Un emisor de luz sobre la superficie de la imagen; 2) Una matriz de puntos que recoge la información de puntos impresos dependiendo de la reflexión de la luz en puntos blancos o negros que se traducen al valor binario (0,1). (GARCES, 1994, p.p. 694 - 702).

Existen dos tipos de módulos ópticos; el más utilizado es el de fax de sobremesa, que consiste de una regleta con sensores o receptores ópticos (depende de la resolución del aparato) que recogen la luz reflejada. Otro sistema es en el que se incorpora una lente que concentra todos los puntos

de luz reflejada en una reducida matriz de sensores. Lo más general es que los escáneres posean un brazo que porta los elementos ópticos recorriendo la superficie del papel, su ventaja es la posibilidad de "escanear" páginas de libros.

Se les llama escáneres de sobremesa porque están estáticos en la mesa de trabajo. Los escáneres de color están equipados con un prisma que contiene en tres de sus caras filtros RGB, para los colores base rojo, verde y azul, el resto de las caras no tiene filtro. Su funcionamiento consiste en efectuar lecturas, en la primera antepone a la óptica una cara sin filtro para leer los puntos del documento, pero sin conocer color de cada punto, para ello se requieren tres nuevas lecturas, en las que el prisma gira anteponiéndose cada filtro. Con esto se restan a los puntos correspondientes y a la imagen original los puntos que pertenecen a cada una de las lecturas siguientes.

Existen los llamados de fotocomposición que utilizan un tambor en su interior sobre el que se fijan las imágenes, en soporte fotográfico como las diapositivas o en papel. El tambor gira horizontalmente sobre un eje haciendo que la imagen circule sobre la óptica repetidas veces, lo que permite a la electrónica separar cada color de la imagen en los puntos que la forman. Su ventaja es la alta resolución (4000 DPI).

La interfase es el requerimiento de hardware para conectar el escáner con la computadora. La mayoría usa tarjetas llamadas propietarias diseñadas para cada dispositivo. En escáneres de mayores funciones es el llamado de video. Los programas de gestión, son programas adjuntos para control y gestión del escáner. El número de bits del escáner es el número de bits con los que es capaz de trabajar el escáner y define el número de colores o de niveles de grises en la captura de imagen. En un modelo de 300 DPI monocromático des 8 bits, se puede alcanzar hasta 256 niveles diferentes de grises, lo que permite trabajar imágenes con relativa calidad profesional.

Pero si se van a manejar colores, además de la información necesaria para conocer los puntos y la densidad entre ellos, se debe conocer el color de cada uno; por lo que el escáner necesita más de 8 bits. Los escáners en color disponen de 8 bits por cada uno de los colores (24 bits en total) aunque existen con 12, 14 o 16 bits por color. Aunque un escáner de 300 DPI y 8 bits por color es más que suficiente.

Una dificultad al digitalizar documentos tanto en textos como en gráficos, es la gran cantidad de puntos que se deben leer y reproducir más tarde. Cuando se dice que la resolución del escáner es de 300 DPI, significa que es capaz de capturar 300 puntos de imagen tanto en horizontal como en vertical, es decir 90000 puntos por pulgada cuadrada, con la correspondiente relación de almacenamiento de un bit por punto. Por lo que cada vez que se guarda una imagen en un fichero, esta alcanza un gran tamaño.

La posibilidad de manejo de imágenes con la ayuda de escáner han surgido diversos dispositivos que optimizan este tipo de sistemas. Para lo que se encuentran disponibles los sistemas de almacenamiento óptico que superan en capacidad a los discos magnéticos. (CD-ROM = 600 Mbytes, 50 Kbytes por página = 12280 páginas por disco).

En cuanto a proceso de impresión se requiere la presencia de una impresora láser que cuenta con elevadas funciones, buena resolución y velocidad, además de contar generalmente con interfaces denominadas de vídeo (tarjetas controladoras).

Las aplicaciones de todo esto, tienen un uso muy extendido en la autoedición, en la que gracias al uso de escáner se puede enriquecer un documento insertándose imágenes (los programas más usados son: Pagemaker y Ventura. Otro uso es la captura de fotos para retoque con programas como Photoshop o Paint Brush de Windows. Con esto se pueden capturar imágenes de contornos o líneas deterioradas para retoque. Por último entre las aplicaciones más usuales se encuentra el

reconocimiento óptico de caracteres (OCR). Este programa convierte una imagen de texto de un escáner en un fichero ASCII inteligible por la computadora, aunque la tasa de errores es muy elevada.

La mayoría de las anomalías se debe al tipo de papel por calidad o dimensiones, se puede producir lectura de falsas manchas. La instalación del software de control, se debe instalar el driver adecuado para cada escáner; las averías propiamente dichas se centran en la lámpara de que está dotado el sistema óptico; la limpieza, si la superficie de cristal está sucia el escáner leerá las manchas y otras anomalías son electrónicas o mecánicas.

**PROCESAMIENTO DE IMÁGENES (Photo Styler).** Este programa funciona con cualquier VGA (video graphics adapter) aunque lo ideal es utilizarlo con una tarjeta de 24 bits o "true color". Aunque no se disponga de una tarjeta de este tipo, el programa permite transformar la imagen a 24 bits, aun cuando el efecto no se vea en pantalla, se consigue mayor precisión.

El color de cada punto de la pantalla (pixel) está representado por un número determinado de bits, cuantos más bits, más colores. Los 8 bits de color de una VGA proporcionan 256 colores, pero 24 bits consiguen más de 16 millones, el máximo distinguible por el ojo humano. En las imágenes en blanco y negro se emplea la técnica de "dithering" (dividir la imagen en cuadros pequeños) creando un entramado y simular cambios de tono de claro a oscuro. Esta técnica se puede usar en imágenes a color, mezclando píxeles de diferentes colores. A mayor resolución, mejor funciona el "dithering". Seleccionando partes de imágenes y unirlos entre sí nos permite obtener efectos interesantes. Este programa nos permite procesar muchas imágenes cambiándolas de tamaño y de resolución grabándolas en formato diferente. (GARCES, 1994, p.p. 716 y 717).

Los escáners como ya se dijo son periféricos, cuya función es digitalizar imágenes; es decir transforma una imagen en un documento informático que pueda ser interpretado y tratado por el



ordenador. Su funcionamiento se basa en el principio físico de absorción y reflexión de la luz por parte de los diferentes colores. El blanco refleja (si es absoluto) toda la luz que recibe; por el contrario el negro, absorbe la luz incidente, la demás gama de colores representará los niveles de reflexión.

El foco de luz del escáner ilumina la imagen que se va a leer, el reflejo incide, a través de una lente, sobre un sensor de células fotoeléctricas, que emiten un voltaje proporcional a la luz reflejada por cada punto original. Estas cargas eléctricas son traducidas a puntos de grises o colores por un software en un documento tratable por el ordenador.

En relación con las impresoras, se usan, cuando es necesario el color, impresoras de inyección de tinta, que compiten en calidad y rapidez con las láser. Su sistema de funcionamiento consiste en proyectar la tinta en el papel mediante múltiples inyectores, que proyectan un chorro originado por el aumento de volumen de microgotas de tinta calentadas en el cartucho. Las impresoras láser son las más usadas en diseño gráfico. Su funcionamiento consiste de un rayo láser dirigido por lentes a un tambor, generando a base de apagado/encendido líneas cargadas (+). Estos puntos con carga atraen partículas de tóner negativo sobre el tambor. Al pasar el papel cargado positivamente, atrae las partículas que se depositan en él y se fijan por calor o presión.

En la impresión a color se usa la combinación de tres o cuatro colores: Cyan, Magenta, Amarillo y Negro. Consiste en imprimir puntos de diferentes colores sobre el papel, tan pequeños que el ojo sólo ve su conjunto, y por mayor densidad de puntos de uno o varios colores básicos, obtenemos toda la gama visible (hay impresoras que reproducen hasta 16 millones de colores, el ojo humano no distingue más de 7 millones distintos). El papel plástico usado en esta técnica se

le añade una capa de polyester, que con la variación de temperatura del cabezal (hasta 400C), consigue una gama continua de los tonos, a pesar de haber sido constituidos por puntos. El efecto es tan real que se asemeja más a una imagen fotográfica que a una impresión.

Una aplicación artística de los ordenadores son los llamados estereogramas de punto aleatorio de una sola imagen, los cuales son imágenes únicas impresas en papel sin emulsiones especiales usadas para observar imágenes tridimensionales. Surgen en los años sesenta, con el doctor Bela Julesz, quien por primera vez los utilizó, generándolas por medio de un ordenador y realizadas con " puntos colocados aleatoriamente para estudiar la percepción de profundidad visual en los seres humanos". "Las imágenes de puntos aleatorios no contienen ninguna otra información, como el color o las formas, si el sujeto del experimento captaba la imagen sólo podía se en tres dimensiones". (Thing Enterprise, 1994, p. 3).

Posterior a los estudios del doctor Julesz, muchas profesionales estudiando las imágenes de puntos aleatorios, descubrieron nuevas formas de crear ilusiones ópticas. Tanto aficionados como artistas han participado en el descubrimiento de que el método de punto aleatorio básico abre nuevas caminos para la creación artística, los ordenadores personales han sido los que propician la apertura de esta nueva forma artística por explorar.

Los estudios de Dan Dyckman y Mike Belinski han enriquecido con gran variedad de productos artísticos y técnicos el campo de las imágenes llamadas también de "ojo mágico" o STARE-E-O. Las empresas Thing, han trabajado durante los últimos años con la Tenyo Co. Ltd. de Japón. La técnica para ver las imágenes en tres dimensiones es sencilla, solamente requiere un poco de paciencia y un mucho de observación, solamente consiste en utilizar lo que se conoce como visión profunda, en las imágenes se repite un mismo esquema, los ojos deben mirar los motivos del esquema mientras el cerebro decodifica la información codificada previamente por el ordenador en los dibujos que se repiten. Una forma de observar estas imágenes consiste en juntar

le añade una capa de polyester, que con la variación de temperatura del cabezal (hasta 400C), consigue una gama continua de los tonos, a pesar de haber sido constituidos por puntos. El efecto es tan real que se asemeja más a una imagen fotográfica que a una impresión.

Una aplicación artística de los ordenadores son los llamados estereogramas de punto aleatorio de una sola imagen, los cuales son imágenes únicas impresas en papel sin emulsiones especiales usadas para observar imágenes tridimensionales. Surgen en los años sesenta, con el doctor Bela Julesz, quien por primera vez los utilizó, generándolas por medio de un ordenador y realizadas con " puntos colocados aleatoriamente para estudiar la percepción de profundidad visual en los seres humanos". "Las imágenes de puntos aleatorios no contienen ninguna otra información, como el color o las formas, si el sujeto del experimento captaba la imagen sólo podía se en tres dimensiones". (Thing Enterprise, 1994, p. 3).

Posterior a los estudios del doctor Julesz, muchas profesionales estudiando las imágenes de puntos aleatorios, descubrieron nuevas formas de crear ilusiones ópticas. Tanto aficionados como artistas han participado en el descubrimiento de que el método de punto aleatorio básico abre nuevas caminos para la creación artística, los ordenadores personales han sido los que propician la apertura de esta nueva forma artística por explorar.

Los estudios de Dan Dyckman y Mike Belinski han enriquecido con gran variedad de productos artísticos y técnicos el campo de las imágenes llamadas también de "ojo mágico" o STARE-E-O. Las empresas Thing, han trabajado durante los últimos años con la Tenyo Co. Ltd. de Japón. La técnica para ver las imágenes en tres dimensiones es sencilla, solamente requiere un poco de paciencia y un mucho de observación, solamente consiste en utilizar lo que se conoce como visión profunda, en las imágenes se repite un mismo esquema, los ojos deben mirar los motivos del esquema mientras el cerebro decodifica la información codificada previamente por el ordenador en los dibujos que se repiten. Una forma de observar estas imágenes consiste en juntar

los ojos y hacer que diverjan o se bifurquen, es decir, "fijar la vista en un punto entre tus ojos y la imagen; hacer que sus ojos diverjan significa que debe dirigir la vista hacia un punto más allá de la imagen". ( Thing Enterprise, op. cit.).

## ANEXO 3

**NOTICIA HISTORICA SOBRE LA COMPRA DEL MANUSCRITO DE LEONARDO DA VINCI.**

En el periódico NOVEDADES del día 5 de enero de 1995, apareció una pequeña pero interesante nota en relación a la compra de un manuscrito de Leonardo Da Vinci (esta misma noticia se reproduce por computadora tal como apareció en la revista TIME).

Dice la noticia aparecida en NOVEDADES: "Gran éxito de la casa de subastas Christie's cuando sacó al estrado un manuscrito de Leonardo Da Vinci de 72 páginas, escritas y diseñadas por el gran artista italiano entre 1506 y a508, en las cuales predecía la invención del submarino y de la máquina de vapor."

"Un gran revuelo se produjo cuando una llamada telefónica decidía el precio del "CODEX" en una suma bastante alta."

"El misterioso comprador se dio a conocer pocos días después, era el joven multimillonario presidente de la **Microsoft Corporation**, Bill Gates, de treinta y ocho años, la primera fortuna personal de los Estados Unidos, calculada en más de nueve mil millones de dólares. "Bill es un hombre fascinado por Da Vinci", dijo un portavoz de su empresa."

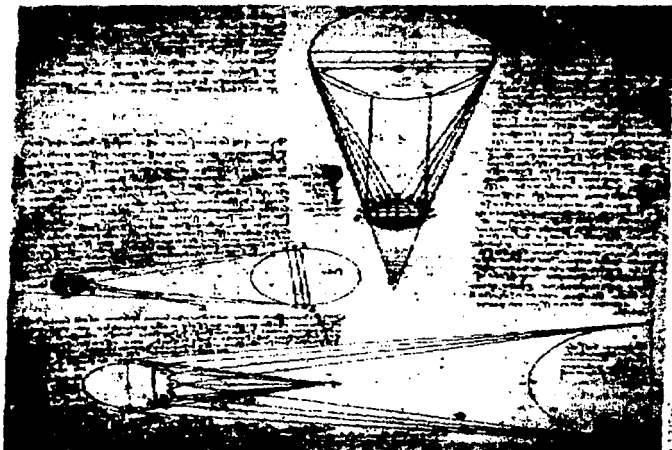
"Hasta ahora se sabía que Gates se interesaba por el arte, pero sólo en su banco de datos, ya que tiene una colección de cien mil imágenes de obras de arte, reproducidas digitalmente de galerías y museos del mundo entero, que exhibe en su televisor de alta definición. Gates ha manifestado que compartirá el "CODEX" con el resto del mundo".

Lo anterior nos muestra en otro contexto, la vigencia que Leonardo tiene aún en el mundo actual como artista y como científico, así mismo nos enseña la importancia de las figuras obtenidas por medio de la computadora, ya que de esta manera se pueden obtener reproducciones fieles de cuadros famosos realizados por los grandes maestros de todas las épocas. Posiblemente no esté lejano el día que la utilización del láser y otros avances científicos apoyen en esto al arte contemporáneo. La personalidad de genios como Da Vinci siempre nos acompañará.

## Two Geniuses, One Book

For the past 277 years, *Codex*, an illustrated collection of **LEONARDO DA VINCI'S** scientific writings, has had just two owners: the Leicesters, a gentrified British family; and former industrialist, Indies' man and onetime Kennedy accomplice, **Arnold Hammer**. But now the 16th century collection of forward-looking musings has landed in the possession of a soul Leonardo might have found more kindred. At a Christie's auction in New York City last week, Renaissance nerd and Microsoft chairman **BILL GATES** anonymously won an intense bidding war against an Italian competitor. A billionaire nine times over, Gates landed his prize for \$30.5 million, the highest price ever paid for a manuscript sold at auction. Now he can study Leonardo's explanation for why the sky is blue.

SHAPPEE/OWEN



ASTIER

VENTA DE UN MANUSCRITO DE LEONARDO DA VINCI EN EL AÑO DE 1994.

## RESUMEN.

La recopilación de los datos permite conocer la forma en que se desarrolló el conocimiento en las épocas anteriores al Renacimiento, dando origen no solamente a los estudios realizados por Leonardo Da Vinci, sino también a los que se desarrollaron posteriormente, abarcando también la etapa contemporánea.

De acuerdo a la escuela Pitagórica, la visión era "la proyección de imágenes lanzadas por los objetos hacia el ojo", misma que fue más tarde desmentida por Euclides y Platón y posteriormente por Aristóteles. Gracias a los pensadores griegos, se iniciaron los estudios de los fenómenos ópticos, desde el punto de vista geométrico, dando así principio el estudio de la propagación rectilínea de la luz.

En el recorrido histórico del estudio de la luz, también encontramos escrito de Claudio Tolomeo donde se vislumbran estudio de la refracción analizada desde el punto de vista astronómico, pero útiles en la pintura de paisajes. Sin embargo cuando más avances se tienen en esta área de conocimiento en con los árabes, que traduciendo las obras clásicas griegas traen junto con los conocimientos provenientes de la India, fundan el llamado Imperio Medieval. Es hasta el siglo XI, cuando se puede considerar que la Física adquiere un carácter experimental.

Pero con Leonardo Da Vinci surgen los trabajos experimentales de género práctico en el campo de la óptica, y es él quien considera a la luz como un fenómeno ondulatorio, anticipándose con esto a los conocimientos vigentes en su tiempo, con sus conceptos sobre la ciencia, como una labor totalmente experimental y de análisis, para finalizar con un experimento concluyente.

Pero los grandes descubrimientos de Da Vinci, yacen en el salto dado de sus observaciones en las ondulaciones producidas por una perturbación en el agua hasta llegar a la luz como fenómeno



ondulatorio similar; con estos conceptos, Da Vinci se anticipa a las teorías emitidas tres siglos después por Huygens y Fresnel.

Así mismo, Da Vinci realiza experimentos semejantes a los de Newton, concluyendo que la luz blanca se descomponía en varios colores que actualmente llamamos espectro. Lo encontrado por Young en el siglo XIX, también tiene semejanzas con los descrito por Leonardo Da Vinci en sus manuscritos, en donde se analiza que el acomodo del ojo para ver a diferentes distancias, se debe a cambios en la curvatura del cristalino.

Los sueños de Da Vinci de crear aparatos ópticos que permitieran ver tanto el macrocosmos como el microcosmos se hacen realidad también en la construcción de los grandes telescopios y los potentes microscopios, que desde el siglo XVII hasta nuestros días han permitido el avance científico, técnico y porque no quizá han tenido influencia en la creación artística contemporánea.

Cuando a finales en el siglo XIX, los impresionistas crean sus obras de arte revelando la importancia de la luz y el color en la composición, la ciencia y sus avances los proveen de nuevos materiales que ayudan en la producción artística, formándose así la alianza arte-ciencia. Todo esto se puede ejemplificar con los avances que la física y la fisiología óptica realizan y que conducen a el conocimiento de la luz y el color que al ser aprovechado por los creadores artísticos, lleva a un mejor aprovechamiento de ellos, sentando con esto las bases para la transición de los diversos estilos.

Las análisis realizados por Leonardo Da Vinci en las ondas producidas por perturbaciones en el agua, son en la actualidad las formas pedagógicas usadas para entender los estudios de los fenómenos ondulatorios, como la luz y el sonido, dos de los principales fenómenos físicos

relacionados con las bellas artes. De esta manera, la intuición de Da Vinci en relación con la naturaleza ondulatoria de las ondas mecánicas, lo convierte en un precursor de la ciencia del siglo XX, anticipándose a De Broglie en su principio dualístico del electrón; a Fermat al enunciar su "Principio de tiempo mínimo" y a Maxwell en su concepto del campo magnético.

Da Vinci también conoce la ley de la refracción, aunque no expresada en forma matemática, su desventaja fue la carencia de conocimientos de trigonometría y a falta de instrumentos de precisión que le permitieran realizar mediciones muy pequeñas. Otro aspecto en el que Leonardo es también precursor es en el estudio de la visión estereoscópica del relieve, debido a la posición y función de los dos ojos, anticipándose a Keppler y Wheatstone. Podemos concluir con esto que los estudios de Da Vinci dan margen a los trabajos de Giovanni Battista della Porta, a Lippershey, Galileo, Janssen, Fontana, Keppler, Snell, Descartes, Fermat, Grimaldi, Hooke, Newton, Huygens, Römer, Euler, Klingestjerna, Dollond, Young, Fresnel, Faraday, Maxwell, Hertz, Poincaré, Einstein y Plank, llegando en esta larga lista a la electro-óptica.

Pero otro aspecto importante de la personalidad de este genio renacentista, es que Da Vinci como apasionado observador de la naturaleza llega a conjuntar una curiosidad estético-analítica y originar el enlace arte-ciencia, indisoluble, llegando a obtener un mayor aprovechamiento de los recursos de que dispone la pintura.

El siglo XX la civilización de la imagen, tiene esto tal importancia que se puede considerar el lenguaje abierto que irradia hasta encontrar un ojo abierto que lo perciba. Por el descubrimiento del láser se llega a la obtención de imágenes llamadas holográficas, las cuales se pueden considerar un aspecto del arte, cuyo campo de acción aún no ha sido explotado y sus posibilidades en la historia del arte, pueden ser grandes.

El procesamiento óptico se inicia en el siglo XIX, pero su aplicación es reciente, se inicia en la década de los sesenta al descubrirse el láser, esta basado en la difracción y en las distribuciones de Fourier que componen una imagen. El procesamiento digital surge con la computación, y consiste en un procesamiento de división de la imagen en un arreglo rectangular de elementos conocidos como píxel, cada uno con un valor numérico de luminosidad y almacenados en la memoria de la computadora. Los píxeles se representan en un monitor de alta definición que muestra la imagen procesada.

Otro importante descubrimiento derivado de los estudios anteriores son las fibras ópticas, capaces de transportar simultáneamente varios trenes de ondas luminosas con longitudes diferentes. Gracias a la matemática descubierta por Huygens se pudo demostrar la desviación de la luz al pasar de un medio de alto índice de refracción a otro de menor, se desvía de tal manera que no se escapa ningún rayo dando lugar a la llamada reflexión interna total, que se produce dentro de estas fibras provocando que la luz pase de un punto a otro con gran eficiencia. Estas fibras son capaces de transmitir imágenes, no de formarlas, siendo un problema a vencer el poder de resolución.

## CONCLUSIONES.

Ningún hecho científico se produce de forma aislada, generalmente se presenta apoyado por descubrimientos antecedentes, a la vez que sirve como punto de partida a subsecuentes hallazgos; sin embargo los estudios realizados en el Renacimiento son a la fecha hechos importantes para la actualidad tanto artística como científica.

Partiendo de esto sabemos que en la época renacentista, ya se conocían algunas ideas en relación a la óptica; sin embargo, los manuscritos de Leonardo Da Vinci tienen una importancia capital que hemos subrayado, en virtud de que muchos de los proyectos y procesos que en la óptica se realizan parten de las observaciones naturales plasmadas en los códices de los manuscritos de Da Vinci.

Huygens y sus estudios son la base del desarrollo de las facetas más modernas de la óptica como son las fibras ópticas y el láser con todas las aplicaciones en holografía, computación y comunicación visual; sin embargo, muchas de esas ideas fueron originadas gracias a los conocimientos generados por los escritos de Da Vinci.

Pero dejando a un lado la parte científica de todo esto, es interesante el conocer la luz y el color para aprovechar mejor sus efectos fascinantes en pintura y en general en las artes visuales; no sería interesante considerar el apoyo mutuo entre la óptica y las artes visuales; no sería posible conseguir efectos ópticos importantes empleando para ello el asombroso mundo de la óptica. Muchos efectos se logran mediante el apropiado uso de espejos y luces en el campo de las artes visuales y muestra de ello se tienen en exposiciones donde los conocimientos de esto no se divorcian sino que se conjugan dando efectos magníficos; el uso de computadoras no solo con miras técnicas o de mera aplicación práctica, sino mediante el uso de su versatilidad para obtener

efectos tan impactantes como las de obtención de imágenes estereoscópicas usando los puntos aleatorios. Las fibras ópticas son otro campo virgen para las artes visuales, ya que por sus características nos permite llevar la luz a través de un camino preestablecido y que podría permitir hacer figuras tridimensionales de luz, esto parece un sueño, pero es importante recordar que en muchas ocasiones el sueño del pasado es la realidad con la cual en el presente proyectamos el futuro. Por ello importa siempre reflexionar acerca de algunos visionarios como Da Vinci.

**GLOSARIO.\***

**Aberración** - Defecto de un sistema óptico debido al cual la imagen no es reproducción verdadera del objeto. Por ejemplo, pueden aparecer franjas coloreadas, la imagen puede no estar enfocada uniformemente, o bien la forma puede mostrar distorsión. Existen técnicas de corrección de la aberración; con todo, éstas pueden ser complicadas y costosas.

**Abertura** - Medida del diámetro eficaz ( $d$ ) de un espejo o lente en relación con su distancia focal ( $f$ ). La intensidad de luz transmitida depende del diámetro de apertura.

**Absorción, espectro de** - Ver espectro.

**Acomodación** - Cambio en la forma del cristalino para enfocar objetos cercanos y lejanos.

**Acromático lente** - Lente compuesto cuyos elementos difieren en índices de refracción para minimizar la aberración cromática.

**Adaptación a la oscuridad y a la luz** - Ajuste de la sensibilidad del ojo a los cambios de la iluminación. Este ajuste va acompañado de cambios en el tamaño de la pupila, así como de transformaciones químicas en los pigmentos visuales.

**Agudeza** - La capacidad para distinguir los objetos en sus mínimos detalles.

**Almacenamiento** - Acción consistente en guardar la información en la memoria del ordenador, ya sea la primaria o secundaria.

**Bitmap** - Imagen digitalizada y representada como el valor de luminancia o color para cada píxel que lo compone

**Brillantez** - Descripción subjetiva de la intensidad de la luz.

**Byte** - Unidad de información constituida por un cierto número de bits (en general 4,6, u 8).

**Carácter** - Cada uno de los elementos tipográficos (letras, números, símbolos) de un cierto dispositivo.

**Catarata** - Término que se aplica, en general, a la nublazón parcial o total del cristalino.

**Cáustica** - Superficie que envuelve los rayos luminosos reflejados o refractados y sobre la cuál se encuentra una acumulación de luz.

**Cámara oscura** - Caja cuyo interior es negro, y en un de cuyas caras se ha practicado una ligera abertura provista en general de una lente por la que penetran los rayos difundidos por los objetos exteriores, cuya imagen se forma sobre una pantalla situada a una distancia conveniente.

**Ceguera cromática** - Término inexacto que abarca las principales desviaciones de la visión normal del color. La forma más común es el dicromatismo, sensibilidad a sólo dos colores en vez de a los tres para formar todos los del espectro.

**Células bipolares** - Una capa de células nerviosas en la retina, que recibe estímulo de los fotorreceptores y lo transmite a la siguiente capa, las células ganglionares.

**Células ganglionares** - La tercera de las principales capas de la retina, que recibe estímulo de las células bipolares y transmite impulso al nervio óptico.

**Codificación** - Asignación de una palabra código a cada mensaje.

**Compilación** - Traducción de un programa escrito en lenguaje de alto nivel al lenguaje ensamblador.

**Configuración** - Estructura del sistema físico que compone un equipo de proceso de datos.

**Convertidor analógico digital** - Dispositivo electrónico capaz de transformar una cierta onda en una secuencia determinada de bits.

**Colores complementarios** - Dos colores del espectro que se suman para dar blanco o gris.

**Colores primarios** - Cualquier grupo de tres colores cuya combinación en diversas proporciones produce el blanco y los colores del espectro visible. Los primarios más comunes son rojo, verde y azul.

**Conos** - Células fotorreceptoras gruesas. Están en la retina, son sensibles al color y permiten apreciar los detalles.

**Constancia cromática** - Tendencia a percibir un objeto familiar del mismo color en diversas condiciones de iluminación.

**Constancia dimensional** - La percepción de objetos familiares como si su tamaño nunca cambiara, cualquiera que sea la distancia a que se hallen.



**Córnea** - La cubierta del globo del ojo, encima del iris y la pupila. Forman parte del sistema de enfoque del ojo.

**Coroides** - La membrana intermedia del ojo, entre la retina y la cubierta exterior, que proporciona sangre al ojo.

**Corteza visual** - La parte de la corteza cerebral donde se interpretan las señales procedentes de los ojos.

**Cuerpos ciliares** - El grupo de músculos que regula la forma del cristalino para ver de cerca y de lejos.

**Cuerpos geniculados laterales** - Estaciones de paso en el cerebro para las fibras nerviosas que salen de la retina. Porción de tejido nervioso de importancia decisiva para todas las funciones visuales de los organismos superiores.

**Curva de visibilidad** - Gráfica que ilustra la sensibilidad del ojo a la luz en cada longitud de onda del espectro.

**Daltonismo** - Véase Ceguera cromática.

**Difracción** - La difusión de la luz alrededor de las orillas de un obstáculo.

**Digitalización** - Transformación de magnitudes analógicas en discretas.

**Disquete** - Disco de dimensiones y capacidad menores que los discos magnéticos convencionales.

Al contrario que éstos, es flexible.

**Diseminación** - Deflexión de la luz por partículas. Este efecto es más pronunciado en las altas frecuencias, como la luz azul, y da al cielo su matiz.

**Divergir** - Irse apartando sucesivamente unas de otras dos o más líneas, superficies o cosas.

**Efecto fotoeléctrico** - Efecto de la luz en ciertas sustancias, generalmente metales, que las hace expulsar electrones.

**Esclerótica** - El "blanco" del ojo, que una gruesa capa exterior.

**Espectro electromagnético** - Ondas de energía eléctrica y magnética que se mueven a la velocidad de la luz. Esta energía adopta diversas formas, entre ellas la luz, calor, rayos X y ondas de radio.

**Espectro** - Banda de radiación electromagnética emitida o absorbida por una sustancia en circunstancias dadas. En un espectro de emisión, la luz u otra radiación emitida por el cuerpo es analizada para determinar las longitudes de onda particulares producidas. La emisión de radiación se puede inducir por varios métodos; por ejemplo, por temperatura elevada, bombardeo con electrones, absorción de radiación de más alta frecuencia, etc. En un espectro de absorción se hace pasar por la muestra un flujo continuo de radiación. La radiación se analiza entonces para determinar las longitudes de onda absorbidas.

**Espectrofotómetro** - Aparato para medir la cantidad de cada color, o longitud de onda, en la luz reflejada por un objeto cualquiera.

**Especulo** - Superficie pulida, especialmente, vidrio pulido y metalizado que refleja la luz y da imagen de una cosa.

**Fenómeno figura-fondo** - La interpretación de ciertas partes de una área determinada como primer plano, y del resto como fondo.

**Fibróptica** - Utilización de finas fibras transparentes para transmitir la luz. La luz pasa a lo largo de fibras gracias a sucesivas reflexiones internas. Las fibras ópticas de este tipo se pueden emplear para ver objetos inaccesibles.

**Foco** - Punto en el que se encuentran rayos inicialmente paralelos después de la reflexión o refracción.

**Fotón** - La unidad más pequeña para medir la energía de la luz.

**Fotopigmentos** - Moléculas que absorben y reflejan, selectivamente, diversas longitudes de onda de luz.

**Fotorreceptores** - Células en la parte posterior de la retina que contienen pigmentos sensibles a la luz. Al ser absorbida la luz, estos pigmentos sufren una reacción que provoca los impulsos nerviosos que se traducen en visión. Véase Conos y Bastoncitos.

**Fóvea** - Pequeña depresión en el centro de la retina, que sólo contiene conos y determina la agudeza visual.

**Haz luminoso** - Conjunto de rayos luminosos que parten del mismo punto, limitados por los diafragmas convenientes.

**Hiperopia** - Presbicia o capacidad para enfocar únicamente los objetos lejanos. Véase Miopía.

**Humor acuoso** - Líquido que se encuentra entre el cristalino y la córnea, a la que alimenta.

**Humor vítreo** - Sustancia gelatinosa transparente que llena la cavidad entre la retina y el cristalino, dando al ojo su forma.

**Ilusión óptica** - Percepción visual que presenta una discrepancia poco común entre el estímulo y el objeto percibido.

**Incidencia** - Ángulo de incidencia, ángulo formado por la dirección de un cuerpo en movimiento o de un rayo luminoso con la normal a una superficie en el punto de encuentro (punto de incidencia).

**Inducción espacial** - Llamada también contraste simultáneo. El contraste de una parte del campo visual con una área adyacente, que afecta la percepción de lo negro, lo blanco y todos los colores.

**Interferencia** - El efecto combinado de ondas de luz superpuestas, que producen franjas brillantes cuando las ondas se encuentran cresta con cresta o seno con seno, y franjas oscuras cuando se encuentra onda con seno.

**Iris** - Tejido contráctil situado detrás de la córnea, que regula la cantidad de luz que entra en el ojo.

**Irradiación** - Exposición a una radiación radiactiva, luminosa o a otro tipo de radiación.

**Iridiscente** - Que muestra o refleja los colores del arco iris.

**Interferencia** - Fenómeno que resulta de la superposición de dos movimientos vibratorios de la misma frecuencia.

**Longitud de onda** - La distancia entre dos puntos similares de una onda determinada.

**Luminosidad excesiva** - Luz o reflejo cuya brillantez resulta molesta.

**Luz** - Pequeña sección del espectro electromagnético, que va de 400 a 700 milimicrones y que contiene todos los colores visibles. Véase Espectro electromagnético.

**Luz polarizada** - Ondas de luz que vibran en un plano único en vez de hacerlo en todas direcciones.

**Mácula** - El área central pigmentada de la retina, o "punto amarillo".

**Matiz** - El color con que se conoce cada una de las estrechas franjas de las diversas longitudes de onda de la luz.

**Membrana nictitante** - Llamada también "tercer párpado". Pliegue de piel vertical, con frecuencia transparente, que lubrica y protege los ojos de muchos reptiles, aves y mamíferos.

**Memoria** - Serie de dispositivos de los que dispone el ordenador para almacenar la información de forma permanente o temporal. Puede ser central o interna (ROM y RAM) así como externa o secundaria (unidades externas de almacenamiento de información).

**Mezcla aditiva de colores** - La creación de un nuevo color mediante la superposición de luces de colores o por la mezcla de distintos colores en el ojo.

**Mezcla sustractiva de colores** - La absorción y reflexión de luz por dos o más pigmentos o tintes sobre puestos, que dan un nuevo color.

**Milimicrón** - Medida de longitud igual a un millonésimo de milímetro.

**Miopía** - Capacidad para enfocar únicamente objetos muy cercanos al ojo. Véase Hiperopía.

**Movimiento paraláctico** - El movimiento relativo de objetos cercanos y lejanos percibidos mientras el objeto o el observador están en movimiento.

**Nervio óptico** - Cordón de fibras que lleva, del ojo al cerebro, los impulsos generados por la luz.

**Nivel de resolución** - En las imágenes y gráficos reproducidos por un ordenador, número máximo de píxeles en que puede dividirse la pantalla.

**Ojo compuesto** - Sistema receptor de luz que suele hallarse en los insectos y que contiene cierto número de unidades idénticas. Cada unidad, llamada omatidio, capta un pequeño segmento del campo visual y contribuye con su porción de actividad nerviosa al mosaico compuesto por el cerebro.

**Óptica** - Parte de la física que trata de las propiedades de la luz y de los fenómenos de la visión. Se distinguen la óptica geométrica y la óptica física. La primera es un estudio de las propiedades de la luz, desarrollado a partir de principios fundamentales (propagación rectilínea, leyes de la reflexión y de la refracción), sin que se formulen hipótesis sobre su naturaleza. La óptica física comporta la interpretación de dichas propiedades a través del conocimiento de esta naturaleza; se divide a su vez en óptica ondulatoria, que considera a la luz como formada por la vibración de un campo electromagnético que se propaga, y en óptica corpuscular, que considera a la luz como formada por fotones, partículas de energía localizada dotadas de movimiento rápido. Los fenómenos de polarización, interferencias y difracción sólo pueden explicarse con la teoría ondulatoria; el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton exigen una interpretación corpuscular. Estos dos aspectos son "complementarios" de una misma realidad.

**Ondulatorio** - En forma de onda, que se propaga por ondas: naturaleza ondulatoria de la luz.

**Ordenador** - Dispositivo electrónico capaz de tratar la información según las instrucciones que le suministra un programa confeccionado por el ser humano.

**Parabólica** - En forma de parábola.

**Paraxial** - Se refiere a los rayos que inciden paralelamente al eje y cerca del mismo sobre una superficie. Sólo los rayos paraxiales pasan o parecen pasar por el foco de una superficie esférica reflectora o refractora.

**Persistencia de la visión** - Breve continuación de un efecto visual después de desaparecido el estímulo : una especie de inercia del sistema visual.

**Perspectiva aérea** - Indicio visual de distancia relativa, en el que los objetos pierden detalle y midan de color, hacia un azul brumoso, de acuerdo con la distancia a que están del ojo.

**Perspectiva estructural** - El apilamiento y fusión de detalles - como las piedrecitas en un campo -, tal como se les ve a distancia creciente.

**Perspectiva lineal** - Indicio de profundidad consistente en líneas rectas paralelas que parecen convergir en un punto distante.

**Perspectiva reversible** - Cambio en la percepción de las dimensiones de un objeto, que trae el fondo a primer plano y viceversa.

**Pixel** - Objeto elemental de una gráfico, definible como el valor de luminancia o crominancia en un punto de la imagen. Una imagen se define como una matriz bidimensional de pixels. Reciben este nombre cada una de las partes en que se divide una imagen para poder así digitalizarla y manipularla.



**Postimagen** - Un efecto óptico que se produce después de retirado un estímulo luminoso. El efecto puede ser positivo ( cuando la luminosidad o color son iguales al estímulo) o negativo (cuando la luminosidad o color de la imagen son lo contrario del estímulo).

**Presbiopía** - Falta de flexibilidad del cristalino debida al envejecimiento; impide que el cristalino se enfoque correctamente para ver de cerca.

**Punto ciego** - Punto donde el nervio óptico sale de la retina. No hay allí ni bastoncitos ni conos, ni, por lo tanto, reacción a la luz.

**Pupila** - La abertura en el centro del iris que regula el volumen de luz que penetra al ojo. El tamaño de la abertura es controlado por el iris.

**Quiasma óptico**- La intersección de los dos nervios ópticos. En este punto del sistema visual humano, las fibras de cada nervio óptico se dividen en dos ramales y se entrecruzan para unirse a la correspondiente mitad procedente del otro ojo. Los dos nuevos cordones así formados siguen hasta los cuerpos geniculados laterales.

**RAM** - Siglas correspondientes a la memoria de acceso aleatorio.

**ROM** - Siglas de Read only memory, memoria únicamente de lectura, es decir, aquella que sólo es accesible para la lectura de su contenido no para su modificación.

**Rayos** - Cada una de las líneas que parten del punto en que se produce una determinada forma de energía y señalan la dirección en la que ésta es transmitida: un haz de rayos luminosos.

**Reflexión** - Cambio de dirección de las ondas electromagnéticas que inciden sobre una superficie reflectante.

**Refracción** - Desviación de un rayo de luz cuando pasa de un medio transparente a otro de densidad diferente.

**Redícula de difracción** - Un artefacto, generalmente una rejilla opaca hecha de líneas estrechas transparentes y equidistantes, que difunde las ondas de luz en forma de espectros. El número de líneas suele ir de 2000 a 12 000 por centímetro.

**Retina** - La porción más interior del ojo, donde se hallan los bastoncitos y los conos sensibles a la luz.

**Rodopsina** - Llamada también púrpura visual, pigmento de los bastoncitos, sensibles a la luz. Se "blanquea" con la luz y se genera en la oscuridad.

**Saturación** - Se refiere a la pureza o calidad de un color. Una de sus medidas es la cantidad de blanco o gris que hay en la mezcla.

**Steoffísica** - El estudio de la relación entre los estímulos físicos y el comportamiento psicológico, o reacción.

**Sistema Munsell de color** - Clasificación del color según tres atributos: matiz, valor y croma. Permite identificar cualquier color por medio de números y letras.

Visión estereoscópica - Percepción del campo visual en tres dimensiones debida a la combinación de la imagen captada por cada ojo.

\*MUELLER, G. , M. Rudolph.

Luz y visión.  
Editorial Offset Larios S. A.  
México, 1976  
200 p.p.

KLEIN, A.

Informática.  
Osiris Editores  
Bogotá, 1990  
94 p.p.

DAINTITH, J.

Diccionario de Física.  
Editorial Norma  
Bogotá, 1984  
238 p.p.

FLORES GUERRA ,B. G.

Apuntes de clase de computación.  
No editados.

## BIBLIOGRAFIA.

- ARIZA, Luis Miguel  
 "El láser revoluciona la informática"  
 En: Conocer la vida y el universo.  
 No. 86, Marzo 1990  
 Editorial Z  
 Barcelona, 1990  
 pp. 30 a la 34.
- ALCOLEA, Gil Santiago.  
 "Francia, Países Bajos e Inglaterra"  
 En: Historia Universal del Arte.  
 Director José Milicua  
 Editorial Planeta  
 Barcelona, 1990  
 pp. 318 a 348.
- ARGENTIERI, Domenico  
 "Leonardo's optics"  
 En: Leonardo Da Vinci.  
 Compilador Giorgio de Santillana  
 Editorial Reynal & Co. e Instituto Geográfico de Agostini.  
 New York, 1956  
 pp. 405 a 436.
- BACCI, Mina  
 "Leonardo"  
 En: Pinacoteca de los Genios.  
 Asesoramiento General Rafael Squirru  
 Editorial Atlántida  
 Buenos Aires, 1988  
 pp. 2 a 7.
- BELMONTE, Isabel et al  
 "Leonardo Da Vinci".  
 En: Protagonistas de la civilización.  
 Editorial Debate/ Itaca  
 España, 1983  
 77 pp.
- BENITEZ, J.J.  
El misterio de la Virgen de Guadalupe. Sensacionales descubrimientos en los ojos de la Virgen mexicana.  
 Editorial Planeta  
 México, 1991  
 (8a. reimpresión)  
 328 pp.

- BLANCO, Matas Alberto y otros.  
Tecnología de pinturas y recubrimientos orgánicos.  
 Volúmen II.  
 Editorial Química S.A.  
 México, 1974  
 pp. 617 a 1359.
- CABRERA, Enrique y otros.  
 "Captura de información impresa por medios ópticos"  
 En: Revista mexicana de física.  
 Publicada por la Sociedad Mexicana de Física.  
 Volúmen 36, No.4 Octubre-Diciembre 1990  
 pp. 603 a 611.
- CASSIRER, E.  
Las ciencias de la cultura.  
 Tr. Wncelao Rossen  
 Editorial F.C.E.  
 México, 1982  
 (5a reimpresión)  
 (Barevniarios 40)  
 191 pp.
- Canal 9 - T.V.  
 "La vista" Idea original: Laurier Bonin  
 Programa omnisciencia, el show de la ciencia  
 Guión Michell Allen,  
 México, D.F., 1991  
 13 hrs. duración 20 minutos  
 Copia en videocassette propiedad del C.E.C.y.T. No. 6 I.P.N.
- Canal 13 - T.V.  
 "The life of Loenardo Da Vinci"  
 Script: Renato Castellani  
 Programa Biografías RAI-Radio Televisione Italiana  
 ORTE TVE INSTITUTO Luce  
 México, D.F., 1989  
 20 hrs. duración 3 horas.  
 Copia en videocassette de mi propiedad.
- CEBALLOS, Edgar  
 "El arte de dibujar el cuerpo humano"  
 En: Leonardo Da Vinci tratado de pintura.  
 C.H. Stratz  
 Editorial Grupo Editorial Gaceta.  
 México, 1985  
 257 pp.
- CONSTANTINO, María & Aileen Reid  
Leonardo.  
 Editorial Mallard Press  
 U.S.A., 1991  
 240 pp.

- ESCOBAR, Alarcón Luis y M. Fernández Guasti.  
"Técnicas de blanqueado de emulsiones holográficas"  
En: Revista mexicana de física.  
Publicada por la Sociedad Mexicana de Física.  
Volumen 35, No. 3, Julio- Septiembre 1989  
pp. 410 a 417.
- FERNANDEZ, Guasti M. y otros.  
"Diseño y construcción de láseres de nitrógeno molecular"  
En: Revista mexicana de física.  
Publicada por la Sociedad Mexicana de Física.  
Volumen 38, No. 4, Agosto de 1992  
pp. 588 a 610.
- FEIGENBAUM, A.M.D.  
"Early history of cataract and the ancient operation for cataract".  
En: American Journal of Ophthalmology.  
No. 49, 305  
pp. 306 y 307.
- FISHMAN, R.S.M.D.  
"Descartes' dream"  
En: Arch ophthalmology.  
Vol. 86, Octubre, 1971  
pp. 446 a 448.
- FLORES, Montejano Adelaido y Héctor A. Domínguez Alvarez  
Pioneros de la física.  
Editorial Trillas  
México, 1988  
172 pp.
- FLEMING, William  
Arte, música e ideas.  
Editorial McGraw-Hill  
México, 1992  
381 pp.
- GARCÉS, Solís de Ovando Sergio.  
Windows, Curso de informática.  
Editorial Provenmex S. A.  
México, 1994  
Revista 22  
pp. 694 a 702
- GARCÉS, Solís de Ovando Sergio  
Windows, curso de informática.  
México, 1994  
Revista 23  
pp. 716 y 717.

- . GOMEZ, Rivera Rafael y otros  
Diseño por ordenadores.  
Ediciones Génesis  
España 1992.
- . GERSTNER, Karl.  
Las formas del color.  
Editorial H. Blume.  
Madrid, 1988  
179 pp.
- . GIRON, Huriado Elvin.  
"Los láseres en la era espacial"  
En: Revista ICYT. Información Científica y Tecnológica.  
Editada por CONACYT.  
México, Agosto 1988  
Volúmen 10, No. 1431  
pp. 35 a 37.
- . GOMBRICH, H. E.  
La imagen y el ojo. Nuevos estudios sobre la psicología de la representación pictórica.  
Editorial Alianza Forma  
España, 1991  
(Primera reimpresión)  
302 pp.
- . HALE, John R.  
El Renacimiento.  
Tr. Nuria Parés  
Editorial Ediciones Culturales Internacionales  
México, 1988  
(3a. edición)  
192 pp.
- . HECHT, E. y Alfred Zajac  
Óptica.  
Tr. Daniel Malacara H.  
Editorial Addison -Wesley Iberoamericana.  
U.S.A., 1977  
586 pp.
- . HERNANDEZ, Perera Jesús  
"El cinquecento italiano"  
En: Historia Universal del Arte.  
Director José Milicun  
Editorial Planeta  
Barcelona, 1990  
pp. 10 a 218.

- . HERNANDEZ, Perom Jesús.  
"El cinquecento y el manierismo en Italia"  
En: Historia del arte.  
No. 26  
Coordinación Francisco José Portela Sandoval y Valeriano Bozal.  
Editorial Fundación Banco Exterior  
Madrid, 1991  
162 pp.
- . JEANS, James  
Historia de la física hasta mediados del siglo xx.  
Editorial F.C.E.  
México, 1986  
(Breviarios 84) 419 pp.
- . LACLOTTE, Michel y Jean-Pierre Cuzin  
El Louvre. La pintura europea.  
Editorial Edition Scala  
Madrid, 1991  
pp. 169 a 186.
- . LANDSBERG, S.G.  
Óptica.  
Primer Tomo.  
Editorial MIR  
Moscú, 1983  
488 pp.
- . LANDSBERG, S.G.  
Óptica.  
Segundo Tomo  
Editorial MIR  
Moscú, 1983  
512 pp.
- . LEON, Luis G.  
"Óptica"  
En: Física popular.  
Editorial Herrero hermanos, sucesores.  
México, 1912  
(2a. edición)  
pp. 218 a 296.
- . MALACARA, Daniel  
Óptica tradicional y moderna.  
Editorial Fondo de Cultura Económico  
México, 1990  
128 pp.
- . MUELLER, G. Conrad y Mae Rudolph  
Luz y Visión.  
Editorial Offset Larios, S. A.  
México, 1976  
200 pp.



- NEROU, Jean Pierre  
Introducción a las telecomunicaciones por fibras ópticas.  
 Editorial Trillas  
 México, 1991  
 345 pp.
- ORTIZ, Georgina  
El significado de los colores.  
 Editorial Trillas  
 México, 1992  
 280 pp.
- PRAT, Jaime y otros  
 "La obra completa de Leonardo 1452-1519"  
 En: Maestros de la pintura.  
 Editorial Origen S.A.  
 España, 1989  
 96 pp.
- PEARLMAN, J.T. M. D.  
 "Hippocrates and ophthalmology"  
 En: American Journal of ophthalmology.  
 Diciembre, 1969  
 pp. 1069 a 1076
- RICHTER, Jean Paul  
The notebooks of Leonardo Da Vinci.  
Compiled and edited from the original manuscripts.  
 Volumen I.  
 Editorial Dover Publications, Inc.  
 New York, 1970  
 pp. 5 a 7.
- SNYDER, Charles.  
 "Aurelius Cornelius Celsus on cataracts"  
 En: Archives of ophthalmology.  
 Enero, 1964  
 pp. 144 a 146.
- SCHULLIAN, Dorothy  
 "Averroes' view of the retina-a reappraisal"  
 En: Journal of the history of medicine.  
 Enero, 1969  
 pp. 77 a 81.
- SCHULLIAN, Dorothy  
 "Averroes' concepts of ocular function - another view"  
 En: Journal of the history of medicine.  
 Abril, 1972  
 pp. 207 a 214.

THULLIER, Pierre

"Espacio y perspectiva en el quattrocento"

En: Mundo científico.

Editorial La Recherche, versión en castellano.

España, 1985

pp. 40 a 52.

TOWER, P. M.D.

"Bookstht made ophthlmological history"

En: Archives of ophthalmology.

Vol. 64, Noviembre 1964

pp. 151/771 a 165/785.

THING ENTERPRISES

El ojo mágico.

Tr. Xavier Nerín.

Editorial Ediciones B S.A.

Barcelona, 1994

32 pp.

U-LEAD SYSTEMS, INC.

Photostyler. Getting Started and tutorials.

Printed By Ciu-Yu Printing Co.

Taiwan, R.O.C., 1991

46 pp.

VASARI, Georgio

"Leonardo Da Vinci"

En: Vidas de pintores, escultores y arquitectos.

Tr. Julio E. Payró.

Editorial W.M. Jackson, Inc.

New York, 1974

pp. 221 a 236.