

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR EL SEÑOR

D. DOMINGO DE ORUETA

Y

CONTESTACIÓN

DEL EXCMO. SEÑOR

D. DANIEL DE CORTAZAR

EL DÍA 18 DE MARZO DE 1923



MADRID
TALLERES POLIGRÁFICOS
Ferraz, 72.—Teléfono 24 09 J.

1923

DISCURSO

DEL SEÑOR

D. DOMINGO DE ORUETA

SEÑORES ACADÉMICOS :

CON emoción grande ocupo hoy este sitio que debo, no a mis insignificantes méritos, sino a la extraordinaria benevolencia vuestra, que se ha dignado elevarme a él, dispensándome una honra que nunca sabré agradecer bastante. Deseo, pues, que mis primeras palabras sean expresión de mi gratitud hacia vosotros por el honor que me otorgasteis. Contribuye a mantener viva mi emoción la circunstancia de venir yo a cubrir la vacante de uno de los hombres que más respeto y más cariño me han inspirado en esta vida : la del eminente ingeniero de Minas D. Rafael Sánchez Lozano, jefe, maestro y queridísimo amigo. Todo ello era para mí el sabio insigne cuya pérdida lamentáis hoy vosotros al par mío.

Desde mi época de estudiante, allá por los años 1882 a 1885, empezó a sonar en mis oídos el nombre de Sánchez Lozano asociado a los estudios geológicos y petrográficos, que eran mi principal afición. Poco después, en 1886, si mal no recuerdo, tuve la honra de conocerle personalmente en el laboratorio de nuestro común amigo D. José Mac-Pherson, que fué tal vez el primero,

o al menos uno de los primeros que vulgarizaron en España el estudio de las rocas y minerales con el microscopio. Allí acudía Sánchez Lozano a discutir con Mac-Pherson, y allí acudía yo a aprender de ambos las cosas que tanto me cautivaban.

Después, en el transcurso de los años, nuestra amistad siguió sin interrumpirse, solicitando yo su parecer y sus consejos y admirando sus trabajos en el vasto campo de la Geología. Voy a resumir brevemente estos trabajos.

El Excmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano se dió a conocer en el mundo científico con una extensa Memoria titulada «Descripción física, geológica y minera de la provincia de Logroño», publicada por la Comisión del Mapa Geológico de España, Centro que hubo de transformarse después en el actual Instituto Geológico de España.

La Memoria de Sánchez Lozano pone de manifiesto en primer término la extensa cultura de su autor y su sagaz espíritu de observación. Pero a más de este mérito, que ya por sí solo impone la admiración de los lectores de esta Memoria, posee ésta otro que sólo muy raras veces se auna con el primero. Es su valor industrial y práctico, deducido del sinnúmero de datos que contiene sobre criaderos de minerales, aguas y demás elementos de riqueza, que han dado a esta publicación de Sánchez Lozano el carácter de utilísimo libro de consulta para cuantos trabajan en minería en aquella región.

Esta rara facultad de su inteligencia, este don de asociar la ciencia pura a la utilidad práctica, caracteriza todos los trabajos del eminente ingeniero a quien tengo la honra de biografiar. Casi me atrevería a afirmar que a medida del tiempo la referida facultad iba acrecentándose y precisándose más. Buena prueba de ello es el éxito alcanzado por las publicaciones de Sánchez Lozano posteriores a la ya citada, y que todas ellas sean tan

de actualidad hoy día como en la época en que se escribieron. Son estos trabajos :

Noticia de la geología de la tierra burgalesa.

Datos geológicos de la provincia de Santander.

Estudio de la formación Valdense de Castilla la Vieja.

Nota de algunos criaderos argentíferos del Norte de Madrid.

Estudios minero-industriales de las provincias de León, Cáceres, Baleares, Granada y Ciudad Real.

Y, por último, los trabajos de captación y alumbramiento de veneros subterráneos hechos en diversas localidades, de cada uno de los cuales ha sido publicada la correspondiente nota explicativa.

Además de estas obras ha publicado el Sr. Sánchez Lozano dos de ellas, de carácter general, cuyo valor científico supera, si cabe, al de las anteriores. Son :

La tectónica en sus relaciones con las aguas médico-medicinales.

La hidrología subterránea en la cuenca del río de Almería.

Como complemento de lo expuesto servirá para conocer la personalidad del Excmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano el siguiente resumen de su hoja de méritos y servicios :

Nació en Linares (Jaén), en 31 de mayo de 1854, y bien niño fué a Barcelona, por haber sido nombrado su padre don Eusebio (también ingeniero de Minas), jefe del distrito minero de Cataluña. Allí se educó D. Rafael y de allí vino a Madrid a prepararse para el ingreso en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas, lo que prontamente consiguió, concluyendo después su carrera con entera brillantez.

Fué nombrado ingeniero segundo del Cuerpo en 23 de octubre de 1877, siendo destinado a los pocos días a efectuar las

prácticas de reglamento en la Comisión del Mapa Geológico de España, donde continuó agregado hasta que en 27 de agosto de 1880 fué nombrado ingeniero de plantilla de la misma Comisión, ascendiendo en octubre de 1885 a ingeniero primero, después de haber contribuído muy eficazmente y durante todo este tiempo a la formación y publicación del Mapa Geológico de España, bajo la dirección del eminente jefe de aquella Comisión, el Excmo. Sr. D. Daniel de Cortázar.

Siempre al servicio del Estado, ascendió sucesivamente en 30 de noviembre de 1900, en 23 de octubre de 1903, en 28 de enero de 1910, en 9 de julio de 1912 y en 21 de agosto de 1914 a ingeniero primero, jefe de negociado, jefe de segunda clase, jefe de primera clase, jefe de Administración, subdirector del Instituto Geológico e inspector general del Cuerpo de Minas, ocupando después los cargos de director de dicho Instituto Geológico y presidente de Sección del Consejo de Minería, hasta que hace poco más de un año fué jubilado por edad, según la ley, pero en la plenitud de su talento y competencia.

Justo premio de su extensa labor fueron :

En 26 de marzo de 1894, la Encomienda de la Real orden de Isabel la Católica.

En 8 de julio de 1895, la Cruz de Caballero de Carlos III.

En 24 de junio de 1918, la Gran Cruz de la Real orden de Isabel la Católica.

Fué además elegido individuo de número de esta Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 2 de diciembre de 1903, tomando posesión del cargo en 29 de junio de 1904. Fué también nombrado consejero de Instrucción pública, en 18 de enero de 1909; vocal de la Junta de Bibliotecas Populares, en 7 de diciembre de 1911; presiden-

te de la Comisión de Estudios de la riqueza hullera nacional, en 3 de diciembre de 1915, y vocal del Comité Central del Consorcio Nacional Carbonero, en 29 de septiembre de 1917.

Tal es, resumida, la historia del eminente hombre de ciencia cuyos singulares méritos acabo de reseñar. Pesar grande me affige al recordar la vida del gran ingeniero que tantas pruebas de consideración y de cariño hubo de darme durante su vida. Elemental deber de gratitud es para mí elevar desde aquí un respetuoso saludo a la familia de este hombre tan sabio y tan bueno, cuya pérdida todos lamentamos desde la triste fecha del día 16 de enero del corriente año, en que, tranquila y resignadamente, entregó su alma al Señor.

* * *

Ahora, para cumplir el precepto reglamentario, presentaré a la consideración de esta respetable asamblea un sencillo resumen de la historia del microscopio y su aplicación en las ciencias naturales.

Entre los innumerables instrumentos de que se vale el hombre para las investigaciones científicas, puede afirmarse no hay ninguno que tenga tantas y tan variadas aplicaciones como el microscopio. Pocas son, en efecto, las ciencias que no tengan que servirse de él en mayor o menor grado. Las ciencias naturales, sobre todo, puede aducirse deben gran parte de su desarrollo, y no pocos de sus progresos a la aplicación a ellas del eficaz medio de investigación aportado por el microscopio. Buen ejemplo de esto son la Histología, la Microbiología, la Petrografía y tantas otras ramas del saber cuya existencia no se con-

cibe sino asociada al microscopio. Otras muchas hay dentro del citado grupo que, si bien no en tan importante escala como las expresadas, lo necesitan para buena parte de sus investigaciones, y hay, por último, algunas ciencias a las que en época reciente ha abierto el microscopio un campo de trabajos insospechado hasta entonces, que ha conducido a resultados de importancia suma. La Metalografía y el Análisis Químico son brillantes muestras de esta afirmación. De aquí que una historia del microscopio, aun brevemente expuesta, como nos obliga a hacerlo la índole de este Discurso, venga a ser al mismo tiempo la historia del desarrollo y progreso de gran parte de las ciencias naturales.

Una colección ordenada de microscopios antiguos y modernos es de gran interés para el que la contempla. Tal vez no exista en la historia científica del mundo un instrumento que haya sido tan concienzudamente estudiado en sus aspectos óptico y mecánico como lo ha sido el microscopio, y nada hay que traduzca este estudio de un modo tan gráfico como una colección de modelos cronológicamente ordenada. En Inglaterra hay varias de ellas. Una es la de la Sociedad Real de Microscopía de Londres ; otra, la formada por el célebre micrógrafo Mr. Frank Crisp, y otra, la adquirida por la Universidad de Oxford, que procede de los trabajos reunidos para formarla de cuatro constructores de microscopios de la Gran Bretaña. En Francia hay una bastante interesante en el Museo Cluny, y en Alemania existen la justamente célebre de la Universidad de Berlín y la reciente del Museo de Ciencias de Leipzig, a más de otras varias de menor importancia. Cada una de estas colecciones, y muy especialmente la de la Sociedad Real de Microscopía de Londres, posee, a más de los modelos de microscopios, una carpeta de grabados antiguos que, en unión de aquéllos, permite

formarse cabal idea de la evolución del instrumento a través de la historia.

No es imposible suplir con explicaciones lo que enseña una colección de éstos ; pero sí es difícil, y más que difícil, de resultados deficientes ; porque sólo viendo un instrumento cabe formarse cabal idea de su perfección y de la mejor o peor adaptación al fin que con él se persigue. Vamos a intentar, sin embargo, dar aquí una idea general de las fases por que ha pasado el problema de distinguir los objetos invisibles a simple vista, problema que en época relativamente reciente ha venido a resolver el microscopio, pero que antes de inventarse éste había sido abordado por otros instrumentos más sencillos de múltiples formas.

En efecto, la hoy llamada «Microscopía» no se ha señalado como tal ciencia hasta la segunda mitad del siglo XVIII, ya que desde los primeros años del Renacimiento hasta la citada fecha su estudio aparece englobado en el de la Física general o en el de la Óptica ; y si consideramos tiempos más antiguos todavía, vemos que estas dos últimas ciencias sólo por excepción se estudian especialmente por algún investigador, siendo lo más frecuente que formasen parte de tratados de ciencia o filosofía general, que abarcaban todos los conocimientos que en dichas épocas se tenían sobre los fenómenos naturales. De aquí que sea tarea difícil la de orientarse sobre los progresos de la óptica y más aún de la microscopía a través de la edad antigua. Es preciso para ello examinar la obra total de cada uno de los que por entonces se ocuparon en las ciencias físicas, entresacar de ellas lo que atañe al asunto, y no pocas veces deducir de lo que aquellos autores han expuesto sobre otros temas el grado de conocimientos que tenían de la ciencia óptica. Éste es el método que nos hemos visto obligados a seguir para lo

que personalmente hemos podido aportar a la historia del microscopio, y un extracto de nuestro trabajo es lo que a continuación se expone.

¿Quiénes fueron los primeros hombres que intentaron observar los objetos invisibles a simple vista? No hay datos para contestar a esta pregunta, pero sí los hay si le damos otra forma diciendo: ¿Cuál es el documento más antiguo que hoy día se conoce relativo a este problema? Este documento no es una inscripción en piedra o en metal, como suele ser el caso en arqueología, sino un objeto real existente en las colecciones del Museo Británico de Londres. Es este objeto un trozo de cristal de roca, de forma ovalada, de uno seis centímetros de longitud por cuatro de anchura, y de poco más de un centímetro de espesor en su parte central. Una de sus caras es plana y la otra convexa, estando talladas ambas con bastante perfección. Tiene este objeto, por consiguiente, la forma de una lente oval plano-convexa con sus bordes biselados normalmente a la cara plana, y la primera impresión que se experimenta al ver esta pieza es que se trata, en efecto, de una lente. Tal fué la opinión de sir David Brewster, que ha sido el primero que ha estudiado y descrito este curioso objeto.

Otros, y entre ellos se cuenta el Dr. Carpenter, opinan que este objeto no estaba destinado a fines dióptricos, sino que sólo se trata de un adorno o presea.

Pero, prescindiendo de las razones que unos y otros aducen en pro de su opinión, hay un hecho innegable, que puede comprobar por sí mismo todo aquel que examine esta pieza con atención, como hemos hecho nosotros, y este hecho es que los objetos se ven aumentados, y bastante aumentados, cuando se los mira a través de aquélla, cosa que, por otra parte, tiene que suceder forzosamente, dada la forma de las dos superficies limi-

tantes. Resulta de aquí que la tal pieza puede no haber sido construída para servir de lente ; pero, sin embargo, actúa como lente y es difícil admitir que a los que manejaron este objeto les pasara inadvertida semejante propiedad.

La pieza de que hablamos fué encontrada por el arqueólogo Mr. Lazard en las excavaciones del palacio asirio de Nimroud, en Nínive, y, por fortuna para la ciencia, se ha podido fijar con bastante exactitud su antigüedad, que corresponde a la fecha 721 a 705 antes de Jesucristo.

Entre los documentos que se conservan de las civilizaciones china y egipcia no se ha encontrado hasta ahora ninguno que se refiera a lentes u otros medios de aumentar objetos pequeños, y esto es tanto más de notar cuanto que ambos pueblos poseían medios para hacer observaciones astronómicas de cierta precisión, como el estudio de los eclipses, la orientación exacta de los edificios y varias otras que se consignan en los libros sagrados de China y en los jeroglíficos de Egipto.

Es preciso llegar a la historia antigua de Grecia para encontrar referencias sobre el particular que nos ocupa. En las obras de los escritores filósofos de Grecia, y a partir del siglo VI antes de Jesucristo, se alude con relativa frecuencia a lentes y a esferas de vidrio destinadas a producir fuego concentrando los rayos solares sobre un punto. Casi se puede afirmar que este procedimiento coincide con el descubrimiento del vidrio.

Por cierto que una de las citas mencionadas se encuentra donde menos nos podíamos imaginar hubiese relaciones de esta índole : en la célebre comedia de Aristófanes titulada *Las Nubes*. A título de curiosidad vamos a referirla (1).

(1) Debemos advertir, de una vez para todas, que tanto de las citas que hagamos como de cualquiera otra de nuestras afirmaciones hemos creído debér acompañar las pruebas en que nos hemos basado al hacerlas, consig-

Uno de los episodios de la comedia de Aristófanes (1) es-triba en el consejo que un hombre corrido y algo pillito, llamado *Strepsiades*, da a su amigo Sócrates para que no pague una multa que le han impuesto, y cuya sentencia va a escribir un escribano con un estilete y sobre un papiro cubierto de una capa delgada de cera. El diálogo es el siguiente :

Strepsiades.—¿No has visto en las tiendas de los drogue-ros esa piedra bella y diáfana con la cual encienden el fuego?

Sócrates.—¿Hablas de una lente de cristal?

Strepsiades.—Sí.

Sócrates.—Bien. ¿Qué harías?

Strepsiades.—Si tomando este cristal cuando el escribano hubiese escrito la condena me colocase un poco detrás de él y expusiera el cristal al sol, se fundirían todas las letras de la multa escritas sobre la cera.

Sócrates.—¡Muy bien!

Esta comedia de Aristófanes se representó por primera vez el año 424 antes de Jesucristo.

Lactancio (2) alude varias veces en sus obras a que en la época antigua griega se usaban globos de vidrio llenos de agua

nando los títulos, páginas y demás datos de las obras de que proceden, para que cualquiera que así lo desee las pueda comprobar. Pero como la exposición de estas pruebas introduciría largos y frecuentes paréntesis en el Discurso, hemos optado por colocarlas al pie de las correspondientes páginas, en forma de notas. Con los autores que se citan se hace algo parecido. A cada nombre acompaña una sucinta biografía y una referencia de sus principales obras, y todo ello en nota al pie de las páginas.

(1) Aristófanes: *Las Nubes*. Traducción de C. Poyard. París, 1892; pág. 122.

Teatro de los griegos. Traducción del P. Brumoy, segunda edición, París, 1823, tomo XIII; *Las Nubes*, acto segundo, pág. 67.

(2) Lucius Coelius Lactancius. Apologista latino cuya fecha de nacimiento no se conoce, pero sí la de su muerte, que acaeció en el año 325 de nuestra era.

para encender el fuego, y asegura era éste el procedimiento que empleaban los sacerdotes en sus templos, y también los cirujanos para cauterizar las heridas. Plinio el Viejo, en su historia natural confirma estas noticias y afirma la antigüedad del procedimiento. Es muy probable también que a Arquímedes le fuera familiar el uso de estos globos, así como el de las lentes de vidrio a que alude Aristófanés.

Pitágoras (1) fué el primero que trató de explicar el fenómeno de la visión. Supone que los cuerpos son visibles merced a partículas pequeñísimas que emiten y que llegan a los ojos, produciendo en ellos una sensación material. Es también Pitágoras el primero que expone y analiza dos fenómenos fundamentales de óptica, la transmisión de la luz en línea recta y la reflexión sobre superficies brillantes, afirmando que cuando la luz hiere una de éstas el ángulo de reflexión es igual al de incidencia.

Platón (2) reproduce las ideas de Pitágoras; pero interpreta de diferente modo el fenómeno de la visión. Lo supone producido por el choque entre las partículas señaladas por Pitágoras y las emitidas desde los ojos del observador, volviendo después a éstos modificadas en su esencia.

Como se ve por lo que antecede, el punto inicial, el ger-

(1) Filósofo griego, en Samos, en fecha comprendida entre los años 492 y 572 antes de Jesucristo.

Los datos que damos en el texto están contenidos en los fragmentos del *Philoaius* analizados por Aristóteles en su tratado sobre Pitágoras y su doctrina. Como libro moderno para orientarse sobre los trabajos de Pitágoras, se puede recomendar el de M. E. Chaignet titulado *Pythagore et la philosophie pythagoricienne, contenant les fragments de Philolaus et de Architas*. París, 1873.

(2) Nacido en Atenas o en Egina en el año 427 y fallecido en 348 a. J. Existen excelentes traducciones comentadas de las obras de Platón. Nos hemos valido de la de M. Victor Cousin, París, 1822. El diálogo de Platón que expone la mayor parte de sus ideas sobre Física es el titulado *Timeo*.

men de la teoría de la emisión, está contenido en las ideas de Pitágoras y Platón, y este concepto fundamental de la óptica antigua no ha sufrido modificaciones hasta fecha relativamente reciente.

Aristóteles (1), en su estudio general sobre ciencias naturales hizo algunos especiales de óptica, muy dignos de atención. El arco iris lo interpretaba en forma parecida a la de ahora : por la reflexión de los rayos solares sobre las gotas de agua en suspensión. Trata también de algunas enfermedades de la vista, entre ellas de la miopía, pero no cita, ni da a entender siquiera, que sus efectos se puedan aminorar por medio de gafas o algún otro aparato óptico similar a las lentes de vidrio ya conocidas entonces. Más adelante veremos que, en efecto, la época de la invención de las gafas se conoce con bastante exactitud y es posterior a la civilización griega.

La lectura de los fragmentos que se conservan de las obras de Aristóteles induce a sospechar que en la parte perdida de ellos debía haber interesantísimos datos sobre óptica. Basán-

(1) Nacido en Estagira (Tracia), en el año 384. Muerto en 322 a. J. Aristóteles encarna todo el genio de la civilización griega, y sus obras son quizá la expresión más elevada y más perfecta del espíritu de aquella nación y de su época. Los textos que se conservan de sus obras representan tan sólo una parte pequeña de éstas. Fueron recopilados y revisados por Andrónico de Rodas hacia los años 50 a 60 a. J. Después se han hecho infinidad de publicaciones comentadas sobre Aristóteles y no pocos estudios sobre sus obras. Entre éstos merecen citarse :

J. G. Buhle: *Vita Aristotelis per annos digesta*, 1791-1800. (Obra sin terminar.)

Bekker y Brandis: Extenso estudio sobre Aristóteles publicado bajo los auspicios de la Academia de Ciencias de Berlín, 1831-1870.

La obra completa de Tauchnitz, de Leipzig, 1832. La de Didot, con texto griego, traducción latina y un notable índice alfabético hecho por Dübner, Bussemaker y Heitz.

Los trabajos de Aristóteles sobre óptica están contenidos principalmente en la parte de sus obras titulada *Física*, y también en parte de la titulada *Meteorología*.

dose en esta conjetura se han emitido hipótesis relativas a los conocimientos generales sobre esta materia que poseía la civilización griega de aquella época. No exponemos estas hipótesis, porque se las considera hoy día erróneas y faltas de base científica.

Euclides (1) es el autor del tratado de óptica más antiguo que se conoce, y es además el primero que procuró traducir en teoremas matemáticos los fenómenos visibles de la luz. Desarrolla más las hipótesis de sus antecesores, demostrando que los rayos visuales pasan del objeto al ojo, formando un cono, cuyo vértice está en este último y su base en aquél. Da también una demostración muy ingeniosa de la igualdad del ángulo de incidencia al de reflexión y de que ambos rayos están contenidos en un plano normal a la superficie reflectora. Establece la posición y el tamaño de las imágenes obtenidas por reflexión sobre espejos planos, cóncavos y convexos. Por último, partiendo de una esfera de diámetro dado, determina las partes y dimensiones de estas partes, en función de su distancia a los ojos del observador y a la que media entre éstos, problema bastante complejo, que resuelve Euclides, sin embargo, si bien cometiendo dos errores, debidos a haber basado sus fórmulas en premisas ópticas inexactas. Por cierto que estos errores son uno de

(1) Su vida es poco conocida. El hecho culminante de ella es la fundación de la célebre escuela de Geometría de Alejandría (306-283). Su nombre va unido al de esta ciencia, y su tratado sobre ella, titulado *Elementos*, sirve todavía de texto en escuelas y Universidades de Inglaterra. Su libro titulado *Optica* compone con otro titulado *Fenómenos* una exposición elemental, en forma geométrica, de la Astronomía de entonces.

Hay otro libro atribuido a Euclides, llamado *Catópticas*, cuya autenticidad es dudosa, en el que se explican los fenómenos de la visión con hipótesis similares a las de Pitágoras y Platón.

De las obras de Euclides hay multitud de ediciones, inglesas en su mayoría. Un buen comentador de estas obras es M. P. Tannery, en su trabajo titulado *La Geometrie grecque*, París, 1887.

los argumentos en que se basan Smith y otros comentadores para negar la autenticidad de la segunda parte del tratado de óptica de Euclides, titulado *Catóptricas*.

Séneca (1), en su obra *Cuestiones Naturales* da un dato que es el primero que la literatura antigua contiene sobre el aumento que producen las lentes. La cita es corta y merece la pena transcribirla :

«Todos los objetos vistos a través del agua resultan mucho mayores. Letras pequeñas y confusas, leídas a través de un globo de vidrio lleno de agua aparecen mayores a la vista y más inteligibles.»

Y al final del párrafo añade : «Todo lo que se ve a través de un líquido cualquiera aparece con tamaño mayor que el real. ¿Tiene algo de extraño que la imagen del sol resulte aumentada cuando se la ve entre la humedad de una nube, desde el momento en que para ello concurren dos causas a la vez : la transparencia hasta cierto punto vítrea de la nube y su naturaleza actual?»

Lo que más llama la atención en esta cita es que Séneca parece atribuir al agua y a los líquidos transparentes la propiedad de aumentar los objetos y que prescinde de la causa real, que es la forma lenticular de las vasijas. Y este error fundamental parecen compartirlo los demás hombres de ciencia de la época. Plinio, por ejemplo, en su *Historia Natural*, habla también de los globos de vidrio llenos de agua, como ya se dijo antes, y también atribuye, o al menos parece dar a entender que

(1) Lucius Annæus Séneca, «el Filósofo», nació en Córdoba, el año 3 de la era cristiana. Entre las varias ediciones de sus obras, nos hemos valido de la bilingüe de M. Misard, con texto latino y francés, que forma parte de la colección de autores latinos publicada por Fermín Didot Frères (París, 1855). La cita que transcribimos está en el libro I de *Cuestiones Naturales*, pár. VI, pág. 402.

la propiedad de aumentar emana del líquido. También se debe a Plinio (1) la célebre descripción de una esmeralda colosal usada por Nerón para ver las luchas de los gladiadores en el circo. No nos detenemos a hablar de esto, porque la tal descripción ha sido ya ampliamente comentada y rebatida por plumas más autorizadas que la nuestra.

Siguiendo el orden cronológico, llegamos ahora a la época del tratado más importante de óptica que nos ha legado la edad antigua : al *Ptolomaei Opticorum Sermones*, de Tolomeo (2).

Consta esta interesantísima obra de cinco libros, de los cuales falta el primero ; más por la recapitulación que se hace al principio del libro II se comprende que el anterior trataba de las relaciones entre la luz y el ojo, basándolas en la idea de rayos visuales, que partían de éste y envolvían al objeto, idea que, como se ve, es diametralmente opuesta a la de las partículas de Pitágoras.

En el libro II desarrolla el concepto geométrico de la visión, perfeccionando las relaciones encontradas por Euclides e introduciendo otras nuevas entre la distancia del objeto a los ojos y la separación de éstos. Resulta muy interesante ver el conocimiento relativamente extenso que en aquella época se tenía ya

(1) Caius Plinius Secundus nació el año 23 de la era cristiana. Se cree que su patria fué Verona. Otros afirman que nació en Como. Su obra más celebrada es la *Historia Natural*. Se suele designar este autor por «Plinio el Viejo» para distinguirlo de su sobrino del mismo nombre, autor del *Panegirico de Trajano* y otras obras.

(2) Claudius Ptolemeus (Tolomeo), astrónomo célebre del siglo II de nuestra era. Autor del sistema astronómico universalmente admitido durante la Edad Media y que perdura hasta Copérnico. Se supone nació en el año 70 de nuestra era y que residió en Canope y Alejandria. Su obra capital es la *Sintaxis Matemática*, llamada también *Alma gesta*, que contiene su tratado completo de Astronomía, y está dividida en trece libros o capítulos. Escribió además varios tratados de filosofía y ciencias, entre ellos la *Óptica* a que nos referimos en el texto.

sobre el aspecto matemático del problema de la visión y compararlo con el desconocimiento casi total del factor fisiológico, que tan importante es. Sólo al final de este libro se dice algo sobre esto. Afirma Tolomeo que las personas cuyos ojos son cóncavos ven a menos distancia que las de ojos normales, iniciando así el camino para el estudio de las imperfecciones visuales; pero ni en este libro ni en los demás hay nada que induzca a suponer que se conocieran en aquella época procedimientos ópticos encaminados a corregir dichas imperfecciones.

En el libro III trata Tolomeo de la reflexión sobre los espejos planos y cóncavos.

Los teoremas sobre la formación de las imágenes están basados y desarrollados con exactitud sorprendente. Este mismo tema lo explana más todavía en el libro IV, considerando los efectos de varios espejos, de igual o de distinta forma, combinados entre sí. Determina sin errores la posición de las imágenes respecto a los espejos y da procedimientos geométricos para medir las distancias entre ambos.

Pero el libro más interesante de todos, a nuestro ver, es el V y último de la obra. En él aborda el fenómeno de la refracción, y sin conocer la ley de los senos de Descartes llega a medir los ángulos de *refracción* con extraordinaria aproximación. Para esto parte Tolomeo del hecho fundamental de que un rayo que emana del ojo y camina en el aire, al penetrar en el agua se desvía de su dirección primitiva y forma con ésta un ángulo que es tanto mayor cuanto mayor es la oblicuidad con que el rayo visual (rayo incidente) corta a la superficie de separación de los dos medios. El ingenioso aparato inventado por Tolomeo para medir este ángulo consiste en un círculo dividido, cuya mitad inferior se introduce en el agua hasta que la superficie de

ésta coincida con el diámetro. En el centro del círculo hay una marca, y en los bordes de aquél dos dados pequeños o índices que corren sobre dichos bordes y se pueden inmovilizar en cualquiera de sus posiciones. Uno de los índices se coloca en el semicírculo introducido en el agua, y el otro en el que está fuera de ella.

Para medir los ángulos de refracción con este aparato, se empieza por colocar el círculo en posición normal a la superficie del agua, haciendo que el centro esté sobre ésta. Se coloca el índice exterior sobre una de las divisiones del círculo, por ejemplo, en la que hace el número 10 a partir del diámetro vertical. Se mueve el índice sumergido hasta que, dirigiendo una visual por el índice exterior y el centro del círculo, pase ésta también por dicho índice sumergido, esto es, hasta que los tres puntos estén aparentemente en línea recta. El ángulo de refracción será entonces el que forme el radio del índice sumergido con el diámetro vertical y será el correspondiente al ángulo exterior de incidencia, esto es, a las 10 divisiones que hemos tomado como ejemplo.

Nos hemos detenido tanto en la descripción de este aparato porque nos ha sorprendido su ingeniosidad y más todavía la precisión de los resultados que Tolomeo obtuvo con él y que es realmente extraordinaria, pues tomando el término medio de las relaciones entre los ángulos de incidencia y de refracción consignados en el cuadro del libro de Tolomeo resulta la cifra 0,7673 y la que da la ley de los senos es 0,7486, esto es, menos de dos centésimas de diferencia entre una y otra.

Tolomeo adaptó su aparato a la medida de las relaciones entre el aire y el vidrio y entre éste y el agua, para lo cual construyó un semicírculo de vidrio, cuyo diámetro era igual al del

círculo antes descrito, y operó con él como en el caso anterior. Las relaciones obtenidas difieren también muy poco de las que da la ley de los senos.

Estos experimentos los aplica Tolomeo a los fenómenos astronómicos. Basándose en ellos interpreta la diferencia de paralelos entre las estrellas que nacen y se ponen y las que están en el cenit o próximas a él. Explica así la mayor parte de los efectos, inexplicados hasta entonces, que la refracción origina en los astros.

Algunos comentadores no han vacilado en asignar a este libro V de la *Óptica* de Tolomeo un puesto único en las ciencias físicas, y han llegado hasta afirmar que sobre refracciones astronómicas no existe nada comparable a los trabajos de Tolomeo entre su época y la de Cassini, o sea hasta los comienzos del siglo XVIII.

Tales son, en extracto, los datos que nos suministran sobre óptica los autores antiguos.

Resumiendo estos datos, creemos se pueden sentar algunas afirmaciones y sugerir ciertas conjeturas verosímiles. Las primeras son :

1.^a En el período de la historia anterior a Jesucristo se conocían las lentes de vidrio (cita de Aristófanes) y los efectos análogos a los de ellas, que originan globos de vidrio llenos de agua.

2.^a Se sabía que éstos últimos aumentaban los objetos, pero no se dice en documento alguno que se haya sacado partido de esta propiedad. El hecho se consigna tan sólo como fenómeno curioso.

3.^a Las lentes y globos de vidrio se utilizaban con frecuencia para encender fuego y cauterizar llagas.

4.^a El fenómeno de la refracción era conocido.

Euclides lo expone con extensión, y Tolomeo mide su cuantía con aproximación grande.

5.^a Lo espejos cóncavos se utilizaban para producir calor, y las leyes de la formación de imágenes en ellos se conocían con bastante exactitud.

6.^a No existe dato alguno que permita ni aun siquiera conjeturar que las lentes se aplicaban a correcciones del órgano visual. Pitágoras, Platón, Euclides, Tolomeo y poco después Galeno (1) tratan con extensión del fenómeno de la visión, de la configuración de los ojos y de sus enfermedades, y sin embargo, ni por acaso indican la posibilidad de procedimientos ópticos para corregir los defectos de la visión.

7.^a El mundo invisible a simple vista era desconocido para los antiguos.

En cuanto a las conjeturas, hay una que se impone al espíritu, y es que aquellos autores, aun cuando no lo hayan dicho en sus obras, debían valerse, en determinadas ocasiones al menos, de las lentes o de los globos de vidrio llenos de agua para ver mejor que a simple vista los objetos pequeños. Este caso debía presentarse con frecuencia en la época romana, sobre todo, dado lo generalizado que estaban esas piedras grabadas que se conservan en los museos y que son admirables, entre otros motivos, por la extraordinaria pequeñez de sus detalles.

Las figuras talladas en estas piedras, los atributos que las acompañan y las inscripciones que muchas de ellas tienen son detalles realmente microscópicos imposibles de apreciar a sim-

(1) Claudio Galeno, célebre médico, natural de Pérgamo (131-218 de nuestra era), ha dejado escritas bastantes obras sobre Medicina y temas relacionados con ella, entre otros el de la visión, el cual desarrolla en el capítulo XX de su obra titulada *Sobre el uso de las diferentes partes del cuerpo humano*.

Después de haber viajado por casi todo el mundo conocido entonces, se estableció en Roma, a la edad de treinta y cuatro años.

ple vista. Como ejemplo de lo que son estas piedras podemos citar dos de ellas que acabamos de admirar en nuestro reciente viaje a Italia. Forman parte de la espléndida colección de sortijas del Museo de Nápoles, entre las cuales llaman poderosamente la atención las dos que llevan los números 25.132 y 390. La primera es un rubí cuya cara superior, ligeramente convexa, mide seis milímetros por cuatro. En esta cara hay grabados cinco personajes que representan una escena explicada en una inscripción de 17 palabras. La otra, más notable todavía, es una *venturina* cuya cara superior es plana, de forma oval, y mide 18 milímetros por 15. En esta superficie se ven con la lente nada menos que 30 personajes admirablemente dibujados y rodeados de atributos y detalles de paisaje que componen, en su conjunto, un verdadero cuadro. No es necesario insistir sobre el pequeñísimo tamaño de estas figuras, para ver las cuales hace falta la lente más potente de un estuche de geólogo.

A partir de Tolomeo y de Galeno se abre un período de casi diez siglos en el que faltan datos sobre óptica, bien porque no se ocuparan en ello los pocos investigadores de los primeros siglos de la Edad Media, bien porque se haya perdido lo escrito. Parece más probable lo primero, porque se da el curioso caso de que varios de los autores de los primeros siglos medios demuestran en sus escritos ignorar las obras de la ciencia antigua, entre otras las de Euclides y Tolomeo, cosa que seguramente no hubiera sucedido si la corriente de investigación científica no se hubiera interrumpido, o poco menos, durante dicho período.

Los primeros documentos sobre óptica que encontramos después de los de Tolomeo y Galeno los contienen las obras de Alhaken, astrónomo y matemático árabe, que nació en Bas-

sora, en el siglo XI, y pasó en España la mayor parte de su vida.

Resaltan entre los trabajos de Alhaken los que llevó a cabo sobre el fenómeno de la visión. Es el primero que asigna a la retina su función real, y completa el concepto suponiendo la existencia de un haz de nervios que transporta al cerebro la imagen retiniana. En óptica astronómica, en cambio, sus trabajos son inferiores a los de Tolomeo y demuestran que ignoraba las conclusiones a que éste había llegado. Este es uno de los argumentos que aducen los comentaristas de Alhaken para afirmar que en el siglo en que éste vivió no había llegado todavía al Occidente de Europa el caudal científico de la época antigua.

Esta opinión la corroboran los procedimientos, totalmente distintos de los de Pitágoras, que emplea Alhaken para estudiar los fenómenos de la reflexión. Ampliando sus procedimientos llega a resultados sorprendentes por su exactitud, entre otros a la determinación gráfica del foco de los rayos reflejados, problema resuelto por primera vez por Alhaken (1).

Pero el trabajo de este sabio que más interesa a nuestro objeto es el que hizo sobre las lentes. Fabricó por sí mismo dos tipos de lente de vidrio, el plano-convexo y el biconvexo, da radios iguales, y operando con ellos no sólo comprobó la existencia del aumento, sino que llegó a medir la cuantía de éste en relación con los radios de curvatura de las superficies esféricas. Dedujo, además, las distancias que deben mediar entre la lente, el objeto y el ojo del observador, dando reglas

(1) M. P. Delambre ha hecho un concienzudo e interesante análisis de las obras de Alhaken. La parte más extensa de él se ha publicado en *Connaissance du Temp* (tomo de 1816), en cuyo tratado se refutan, además, algunas de las opiniones de Montucla, otro comentarista de Alhaken.

para la construcción gráfica de la imagen y marcando así el camino racional que se debe seguir en los problemas de óptica geométrica.

Entre los que han tratado de óptica sigue a Alhaken, en orden cronológico, el polaco Vitello (1), que vivió en Italia en la segunda mitad del siglo XIII. Sus primeros trabajos versan sobre los ángulos de refracción del aire al agua y del aire al vidrio, los cuales determina por un procedimiento semejante al de Tolomeo, llegando a resultados que se aproximan más todavía que los de éste a los que da la ley de los senos.

En el curso de estos experimentos y durante los que después hizo sobre espejos le hubo de llamar la atención que parte de la luz se perdía, por causas desconocidas para él. Vitello habla varias veces de este fenómeno y lo sintetiza en la regla siguiente: *Los cuerpos aparecen menos luminosos cuando se los ve por reflexión o refracción que cuando se los mira directamente.* No intenta medir la cantidad de luz perdida ni da explicaciones sobre las causas de esta pérdida. Sus interpretaciones sobre los colores del arco iris y demás fenómenos óptico-astronómicos se asemejan a las de Tolomeo y sus antecesores.

Contemporáneo de Vitello es Rogelio Bacon (1), cuyos

(1) Vitello o Vitellus es el nombre latinizado de Ciolek. Habitó durante bastante tiempo en Viterbo, ciudad de Italia. Sus primeros escritos datan de 1275. Su obra más conocida es el tratado de óptica a que nos referimos en el texto, cuyo tratado es, al mismo tiempo, uno de los primeros escritos que se conocen sobre perspectiva. Las ediciones impresas más antiguas que existen en las obras de Vitello son la de Nuremberg de 1533 y la de Basilea de 1572.

(2) Rogelio Bacon nació en Ilchester (Inglaterra), en 1214. Murió en 1294. Sus trabajos abarcaron la Alquimia, la Física, las Matemáticas, la Astronomía y la Medicina, por lo cual se le ha llamado «el Doctor Admirable». Comenzó su educación en París, donde tomó el grado de doctor en Teología. Volvió a Inglaterra; se hizo monje y al morir el papa Clemente IV, que había sido

trabajos son importantes para nuestro asunto, entre otras razones, porque se ha discutido y se discute todavía si este célebre alquimista ha sido o no el inventor del anteojo y de las gafas.

Los trabajos más extensos de Bacon sobre óptica, y que contienen, además, resúmenes de todos los demás hechos por él, repartidos en diversos manuscritos, son los dos titulados «Perspectiva Communis» y «Specula Mathematica», contenidos ambos en la célebre *Opus Majus*, que es la obra capital de Bacon.

Está bastante extendida la opinión que atribuye a este sabio la invención de los instrumentos de óptica citados antes. Esta opinión la han defendido Plott, Friedu, Wood, Molyneux y algún otro. En cambio, hombres tan eminentes como el doctor Smith, de la Universidad de Cambridge, han sostenido que Rogelio Bacon *escribía hipotéticamente*, cual si estuviera refiriendo algo que podía existir en realidad, pero que aun no existía. El Dr. Smith aduce en apoyo de su tesis el hecho de que en ninguno de los manuscritos de Bacon se citan experimentos hechos con los aparatos en cuestión (1).

su protector, hubo de sufrir persecuciones de parte de los monjes de Inglaterra, a consecuencia de las cuales fué preso, y preso vivió parte de su existencia. A esto se atribuye la frase, que ha llegado a ser célebre, pronunciada en su lecho de muerte: «Me arrepiento de haber trabajado tanto para destruir la ignorancia.»

La obra más conocida y reputada de Bacon es la titulada *Opus Majus*, cuyo manuscrito se conserva en la Biblioteca Nacional de Londres (British Museum), cuya primera edición, hecha en Londres, data de 1733. Hay bastantes más ediciones de esta obra y de varias otras, cuyo análisis no es de este lugar. En la citada Biblioteca Nacional inglesa y en la de la Universidad de Leyde se conservan cuatro tratados manuscritos de Rogelio Bacon que no han sido impresos todavía.

Un buen comentador de Bacon es Mr. E. Charles, cuya obra *Roger Bacon* ha alcanzado justa celebridad.

(1) Una buena fuente para orientarse en esta discusión es la serie de cartas publicadas en los tomos XVIII y XIX de *Philosophical Magazine*.

Debemos confesar que al leer la traducción inglesa de *Opus Majus* hemos visto confirmada la opinión general acerca de la manera extraña y confusa como escribía Bacon, debida tal vez a que las persecuciones de que casi constantemente era objeto lo llevaban a velar su pensamiento. Transcribimos a continuación uno de los párrafos que más han llamado la atención de los comentadores, que es el que se refiere al anteojo. Dice Bacon, refiriéndose a los resultados que se obtienen por medio de la refracción :

«Cosas más grandes que éstas se pueden ejecutar por medio de la visión refractada ; porque es fácil comprender por las causas mencionadas antes que cosas muy grandes pueden aparecer excesivamente pequeñas, y al contrario ; y también que los objetos más remotos pueden aparecer como si los tuviéramos en la mano, y al contrario. Porque podemos dar tal forma a los cuerpos transparentes (lentes o segmentos de esfera), y disponerlos en tal orden respecto a los ojos y a los objetos, que los rayos sean refractados y doblados hacia cualquier lugar que queramos, de tal manera que veremos al objeto cerca de la mano o a sensible distancia y bajo cualquier ángulo que deseemos. Y así, desde una distancia increíble podemos leer las letras más pequeñas y contar las más pequeñas partículas de polvo y de arena, a causa del gran tamaño del ángulo bajo el cual los vemos. Y, por el contrario, puede ocurrir que no lleguemos a ver los mayores cuerpos citados cerca de nosotros, a causa de la pequeñez del ángulo bajo el cual pueden aparecer, porque la distancia no es la que afecta a esta clase de visión, sino el tamaño del ángulo. Y así, un niño puede aparecer como un gigante y un hombre tan grande como una montaña, puesto que podemos ver al hombre bajo un ángulo tan grande como el de la montaña. Y así, un pequeño ejército puede parecer que

es muy grande y aunque esté lejos asemejar que está cerca de nosotros, y al contrario. Así también, al Sol, a la Luna y a las estrellas les podemos, en apariencia, hacer descender hacia nosotros y colocarlas sobre las cabezas de nuestros enemigos, y otras muchas cosas de la misma clase que dejarían atónitas a las personas ignorantes» (1).

A juicio nuestro es, en efecto, difícil deducir de la lectura de este párrafo si el que lo escribió hablaba de experimentos hechos por él mismo o de cosas que en el porvenir fuera dable realizar. Pero hay otros datos que tienden hacia la primera interpretación.

Uno de ellos es el párrafo de un manuscrito titulado «Pathway to Knowledge» (2), que data de una época muy poco posterior a la de Bacon y que refiriéndose a éste dice :

«Mucho se habla allí de un vidrio (3) que él hizo en Oxford con el cual los hombres pueden ver cosas que parece sólo se podrían ver por la intervención de espíritus diabólicos ; pero yo conozco las causas, y éstas son buenas y naturales y están fundadas en la geometría.»

Mr. Molyneux, uno de los comentadores más concienzudos de Bacon, basándose en algunos párrafos de los escritos de éste, opina le era familiar el uso de las gafas. La cita más categórica, a juicio de Mr. Molyneux, es una contenida en el libro II de *Opus Majus*, que dice así :

«Este instrumento (una lente plano-convexa de vidrio) es útil para las personas ancianas y para aquellas cuyos ojos son

(1) Nuestro texto es una traducción literal del de *Opus Majus*. Lo hemos cotejado, para mayor seguridad, con el del Dr. Smith y también con otro texto inglés contenido en la obra de M. A. N. Buckley titulada *A Short History of Natural Science* (Londres, 1894), pág. 52.

(2) De este manuscrito se hizo una edición impresa en 1551.

(3) La palabra antigua inglesa que traducimos como *vidrio* es *glasse*.

débiles, porque con él pueden ver las letras más pequeñas suficientemente ampliadas.»

Este párrafo autoriza, por lo menos, a deducir que Bacon conocía el procedimiento óptico de corregir la vista por medio de lentes.

Hay otros datos que prueban el uso frecuente de las gafas en 1292, fecha de la muerte de Bacon (1), y que estas gafas eran lentes plano-convexas montadas en forma adecuada para su colocación ante los ojos. Es uno de ellos un manuscrito de Alejandro Spina, natural de Pisa, muerto en 1313, en el que refiere: «Que habiendo visto un par de gafas (2) hecho por una persona que no quería decir el procedimiento de construcción, consiguió hacer otro par por sí mismo y lo encontró tan útil que se apresuró a dar publicidad al procedimiento.» La fecha en que escribió esto Alejandro de Spina puede asegurarse fué entre 1280 y 1311 (3).

Existe un manuscrito titulado «Di Governo della Familia de Scandro Pissozzo», cuya fecha indubitada es 1299, en el que se dice: *Me encuentro tan abatido por la edad que no puedo leer ni escribir sin esos vidrios que se llaman anteojos (4) recientemente inventados para beneficio de los viejos cuando su vista decae.*

(1) Algunos opinan que esta fecha es 1294.

(2) La palabra empleada antiguamente para designarlas era *anteojos*, que si se empleara hoy día se prestaría a confusiones. En español se ha usado mucho y aun se usa la palabra *quevedos*, cuyo origen es bien conocido. La palabra *lentes*, usada también, se presta a confusiones, más todavía que anteojos. Por esto hemos optado por la palabra *gafas*, que no se puede confundir con ninguna de las que hoy día se emplean en óptica.

(3) Contienen datos interesantísimos sobre la invención de las gafas las dos obras siguientes:

M. Spoon: *Recherches curieuses d'Antiquité.*

A. B. Buckley: *A Short History of Natural Science.*

(4) La palabra italiana es *occhiale*.

En el antiguo vocabulario italiano *Della Crusca*, artículo anteojos (*occhiale*), se dice que el fraile Giordano Rivalto, muerto en Pisa, en 1311, y cuyos escritos fueron dados a conocer en 1305, asegura que la invención de las gafas, que considera como una de las más útiles del mundo, sólo databa entonces de veinte años. Esta cita fijaría la fecha de invención en 1285.

Otro dato interesante nos lo da un tratado titulado *Opus Liliom Medicinæ*, escrito en Montpellier por Bernard de Gordon en 1305 (1). El autor se ocupa en este libro, con bastante extensión, en las enfermedades de la vista, entre otras, del cansancio de ella, y preconiza algunos remedios. Para ponderar los efectos de uno de éstos dice *que muchos de sus pacientes, al poco tiempo de usarlo podían leer hasta las letras más pequeñas sin necesidad de gafas*. Esto prueba que el uso de éstas era conocido en el Mediodía de Francia en los comienzos del siglo XIV.

En la obra de Carpenter, ampliada por Dallinger, *The Microscope and its Revelations*, se da como cosa probada que el inventor de las gafas fué Salvino d'Armato degli Armati, nacido en Florencia, en la segunda mitad del siglo XIII, y fallecido en 1317. Parece ser que en un panteón de la noble familia de Armati, y en la tumba de Salvino d'Armato, existía

(1) Célebre físico y médico francés nacido en Gordón (Rouerge), en la segunda mitad del siglo XIII. No se sabe con precisión el año de su nacimiento. Su obra capital es la citada en el texto, y en el prólogo o introducción de ella dice el autor que la comenzó a escribir en 1305, al vigésimo año de haber sido nombrado profesor en Montpellier. El nombre con que firma su libro es Bernardus de Gordonio. No se sabe tampoco la fecha de su fallecimiento; pero, según se deduce de los escritos de Bauchia, que es uno de los comentaristas de Gordon, éste vivía todavía en 1318.

La primera edición impresa de *Opus Liliom Medicinæ* data de 1524, y está hecha en París.

una inscripción que decía haber sido éste el inventor de las gafas, y esta misma aseveración la vemos consignada en algunos de los libros que tratan de la historia de las ciencias.

No es cosa probada, ni mucho menos, a juicio nuestro, la afirmación que antecede, la cual sólo se basa, que sepamos, en la inscripción de la tumba de Salvino d'Armato y en algunas referencias de autores italianos, bastante posteriores todos ellos a la supuesta fecha de invención.

En apoyo de que Rogelio Bacon es el inventor del anteojo (1) figuran en primer término, por la reputación de su autor, las obras de Leonard Digges, tituladas *Pantometría* y *Stratitotikos*, cuyas primeras ediciones, hechas en Londres, datan, respectivamente, de 1571 y 1579. En ellas se describen con amplios detalles los efectos de los anteojos, *los cuales estaban formados por varias lentes de vidrio colocadas a distancias convenientes, y con los cuales los pueblos lejanos aparecían con sus calles y sus casas bien distintas las unas de las otras, y hasta se podían leer los letreros escritos en las fachadas, sobre todo si los rayos del Sol los herían de frente.*

Lo que da más valor a este párrafo es lo que Thomas Digges, hijo del autor, dice respecto al asunto en el prefacio de la segunda edición de *Pantometría* (2). «*Estos conocimientos de óptica los adquirió mi padre de un manuscrito antiguo,*

(1) La palabra *anteojo* la usamos nosotros en sustitución de la de *telescopio*, que es la que invariablemente figura en cuantos escritos hemos citado. En todos ellos se trata de un instrumento basado en la refracción a través de lentes combinadas de tal o cual manera, y nunca del espejo reflector que caracteriza el verdadero telescopio. Por esto, y para evitar posibles confusiones, nos hemos permitido hacer el referido cambio de palabras. Por otra parte, los autores que estamos citando querían designar con la palabra *telescopio* un instrumento destinado a ver objetos lejanos, y no conocían la diferencia que posteriormente se estableció entre el *anteojo* y el *telescopio*.

(2) Esta edición, hecha también en Londres, lleva la fecha 1591.

debido a Rogelio Bacon, que por una extraña aventura, o más bien destino, vino a parar a sus manos.»

En resumen : parece probado que las gafas eran ya conocidas en los comienzos del siglo XIV y que tanto en Inglaterra como en Italia y Francia su uso estaba relativamente generalizado ; por lo menos no se las consideraba ya como un instrumento misterioso y raro poseído tan sólo por los alquimistas. Este último papel es el que desempeñaba el antejo, dado que existiera en aquella época. No hay pruebas categóricas de esta existencia ; pero después de las citas que hemos transcrito, nos parece poco admisible la creencia, que hasta hace poco ha predominado, de que el antejo haya sido inventado en Holanda, en los primeros años del siglo XVII.

Los siglos XIV y XV no aportan documentos que prueben la invención de aparatos nuevos, ni perfeccionamientos de los ya existentes, para la visión de objetos lejanos o aumento de objetos pequeños. No es fácil admitir que se hayan perdido los datos manuscritos u orales correspondientes a este período, porque los medios de transmisión del pensamiento a fines de la Edad Media no eran tan limitados como en la época que media entre Tolomeo y Alhaken. Además, al leer los libros que tratan de óptica al comienzo del siglo XVII nos encontramos con que los conocimientos sobre esta ciencia eran casi los mismos que a principios del siglo XIV.

Pasemos ahora al examen de los importantes documentos que aporta el siglo XVI.

En el palacio Pitti, de Florencia, se conserva un retrato del Papa León X, pintado por Rafael de Urbino entre 1513 y 1520, en el cual el Papa tiene en su mano derecha una lente destinada a examinar las letras y figuras de un libro que hay abierto ante él.

En el año 1525 se conocía ya en Italia un tratado de óptica titulado *Theoremata de Lumine et Umbra*, cuyo autor era un profesor de Matemáticas de Mesina llamado Maurolycus (1). Este libro no ha sido impreso hasta 1875. Entre otros muchos datos contiene, como ideas nuevas, la de medir la cantidad de luz que ilumina a un cuerpo dado, así como un intento de explicación científica del fenómeno, ya conocido desde Aristóteles, originado por los rayos solares cuando pasan por aberturas pequeñas y dan imágenes que son constantemente redondas u ovaladas, sea cual sea la forma de la abertura.

Pero lo que más ha contribuído a la reputación de Maurolycus ha sido su acierto al explicar el fenómeno de la visión, demostrando que el cristalino es una lente que recoge los rayos que entran en el ojo y los concentra en el foco de la retina. Basándose en esta y otras consideraciones, divide a las personas en *largas* y *cortas* de vista, y deduce la clase y grado de curvatura de las lentes que cada una de ella debe emplear para normalizar su visión.

Le llama a Maurolycus la atención, como a sus antecesores, el fenómeno del arco iris ; pero al estudiarlo lo hace desde otros puntos de vista. Considera al espectro compuesto por cuatro colores : el anaranjado, el verde, el azul y el púrpura, e intenta establecer la relación entre sus respectivas anchuras en el arco iris.

Maurolycus está considerado como el descubridor de la

(1) Francisco Maurolyco, nacido en Mesina, en 1494 ; muerto en la misma ciudad, en 1575. Descendiente de una familia griega de Constantinopla refugiada en Sicilia. Siguió la carrera eclesiástica. Sus obras principales versan sobre Matemáticas, y las más importantes, a más de las que citamos en el texto, son : *Spherica* (Mesina, 1558) ; *Cosmographia* (Venecia, 1543) ; *Quadrati horæ* (Venecia, 1546). Escribió además extensos comentarios sobre Euclides y Arquímedes.

aberración de esfericidad, y es, en efecto, el primero que la menciona y describe. Se valió para demostrarla de una esfera de vidrio, e hizo ver que los rayos que inciden lejos del eje tienen su foco más cerca de la esfera que los que inciden próximos al centro. Comprueba también este resultado por la forma de las curvas cáusticas originadas por la esfera, curvas que con notable acierto considera como el lugar geométrico de la intersección de los rayos reflejados.

Casi contemporáneo de Maurolycus es Battista Porta (1), una de las inteligencias más precoces del Renacimiento, que se ciñe casi exclusivamente a la ciencia óptica en todos sus trabajos.

Uno de sus primeros descubrimientos es el de la *cámara obscura*, que relata en el capítulo XVII de su obra *Magia Naturalis*. Extractando el texto de Porta resulta :

«Si en una habitación obscura se practica un agujero pequeño, se ven en la pared opuesta a él imágenes de los objetos exteriores. Estas imágenes reproducen la forma y el color de los objetos ; son tanto más precisas y más limpias de contornos cuanto más pequeño es el agujero, y su posición está invertida con relación a la del objeto. Si se coloca en el agujero una

(1) Juan Battista Porta, nacido en Nápoles, en 1545, y muerto en 1615. Siendo todavía un niño fundó en su misma casa una Academia o Centro de discusión que fué bautizado con el nombre de «Academia de los secretos». A ella asistían cuantos se interesaban por la ciencia (*virtuosi*) en Nápoles, y cada concurrente contraía la obligación de aportar a la Academia los descubrimientos originales que hiciera y cualquiera idea o comentario distinto del de sus antecesores relativo a los conocimientos científicos en curso entonces. Merced a este aporte pudo Battista Porta publicar en 1560, o sea a los quince años de edad, su primer libro de ciencia, titulado *Magia Naturalis*, el cual poco tiempo después fué traducido al español, francés, árabe y hebreo. Más adelante publicó otro dedicado todo él a óptica, que se titula *De refractione, Optices parte, libri novem*, que es una recopilación de cuanto se sabía entonces de esta ciencia.

lente convexa, esto es, un trozo de vidrio con caras esféricas y más grueso en el centro que en los bordes, las imágenes de los objetos son más limpias y más claras que cuando no interviene la lente.»

Esta explicación y el nombre de *Cámara obscura* con que Porta bautizó su aparato están, como se ve, en un todo de acuerdo con los conocimientos actuales. De ella dedujo una interpretación de las imágenes formadas por los ojos, que es también exacta y que corrobora y amplía lo que sobre dicho problema pensaba Alhaken. Esta explicación del fenómeno visual es la que más tarde hubo de servir a Kepler de punto de partida para sus famosas leyes y para explicar la reunión de las dos imágenes visuales invertidas en una sola colocada en la misma posición que el objeto.

Sería interesante transcribir aquí el análisis de ese capítulo XVII de *Magia Naturalis*, que constituye una de las exposiciones científicas más completas y más ingeniosas de cuantas nos ha legado el Renacimiento italiano; pero resultaría un texto muy extenso que nos apartaría demasiado del fin principal que perseguimos.

Battista Porta sacó partido de su Cámara obscura para dibujar objetos, colocando el papel o el cuadro de tela en la pared opuesta al agujero y pasando la punta del lápiz por los contornos. Poco tiempo después la utilizó también como *linterna mágica*, poniendo dibujos pequeños hechos sobre pergamino transparente delante de la lente del agujero y recibiendo la proyección sobre la pared opuesta. Así, pues, el aparato de Porta es el primero que se ha empleado para el dibujo de objetos por proyección, y simultáneamente para esta última. Su principio es, como se ha visto, el mismo que utiliza el aparato de Edinger, que hoy día se emplea para idénticos fines.

Porta no empleó nunca luz distinta de la solar ni para el dibujo ni para la proyección. Cinco años después de su muerte un físico alemán llamado Kircher dió a conocer linternas mágicas hechas por él y alumbradas por lámparas de aceite.

En la obra de Battista se mencionan repetidas veces los efectos de las lentes cóncavas empleadas aisladamente. En una de estas descripciones afirma *que si se combinan dos lentes de un modo conveniente, resulta un aparato que permite ver los objetos muy aumentados y muy claros*. Esta frase parece significar que su autor conocía el microscopio compuesto o algo semejante a él ; pero la descripción que a continuación hace del instrumento es tan confusa y está tan distanciada y tan en contradicción a veces de los asertos que la anteceden, que cuesta trabajo creer se quiera describir allí un instrumento realmente existente construído por el mismo que lo ha inventado (1).

En la segunda obra de Battista Porta sobre óptica, *De Refractiones*, etc., ya citada, se extiende el autor mucho sobre el fenómeno de la visión, adoptando y ampliando lo expuesto por Euclides y Galeno, pero cometiendo un error de consideración

(1) Nos encontramos ante algo semejante a lo de Rogelio Bacon. Uno de los comentadores de las ciencias del Renacimiento, Mr. Drinkwater Bete-lune, a cuya vasta inteligencia se une un sagaz espíritu de observación, manifiesta repetidas veces su sorpresa ante la casi constante repetición del hecho que acabamos de señalar. Hombres que exponen con admirable claridad las teorías y los fundamentos de tal o cual aparato científico, y que a renglón seguido pasan a ser confusos, misteriosos y a veces ininteligibles cuando describen la construcción, el mecanismo y la manera de funcionar del aparato en cuestión. ¿Lo hacen adrede, para conservar el secreto? Es difícil admitirlo, porque tal precaución resultaría inútil tratándose de artefactos tan sencillos. ¿Lo hacen ante el temor de persecuciones y castigos si en sus descripciones hay algo que pueda tomarse como diabólico o de hechicería? Algo de verosimilitud hay en esta hipótesis si recordamos lo ocurrido a Rogelio Bacon y lo que después le ocurrió a Galileo y a otros. Porta mismo no se libró de persecuciones. Era católico, apostólico, romano muy significado, no obstante lo cual los Tribunales religiosos vieron con cierta suspicacia aquellas reuniones de la Academia de

al contradecir, sin aportar prueba alguna, uno de los teoremas fundamentales de Euclides. Esto ha bastado para quitar parte de su valor a la citada obra de Porta, y así lo han puesto de manifiesto sus comentadores. En cambio, estos mismos han hecho resaltar la importancia que encierra el diagrama que hace Porta para explicar la formación de las imágenes visuales, diagrama en el cual está contenido tanto el principio óptico como el mecanismo de construcción del estereoscopio moderno (1).

En 1571 M. J. Fletcher, de Breslau, publica un libro titulado *De Tridibus Doctrina Aristotelis et Vitellionis*, que citamos tan sólo porque contiene una recopilación completa de la óptica antigua y de los conocimientos que sobre lentes y visibilidad de objetos pequeños existían en la época del autor.

Pocos años después apareció una teoría completa del arco iris en un libro titulado *De Radiis Visus et Lucis*, cuyo autor es Antonio Dominis, arzobispo de Spalatro (1561-1562), que se imprimió en 1611, y en uno de cuyos capítulos finales hay una descripción somera del antejo. Pero como cuando se imprimió este libro ya se conocía el antejo de Galileo, se supone que Antonio de Dominis no hizo más que transcribir lo que ya empezaba a ser conocido. Faltan datos de la obra científica de este físico, porque abrazó la religión protestante y tuvo que abandonar a Italia, viviendo en Londres algún tiempo, y des-

Ciencias de Porta, y las prohibieron bajo severas penas a raíz de la publicación de *Magia Naturalis*.

Puede suceder que ninguna de las anteriores explicaciones sea cierta; pero el hecho lo es, y es dable afirmar que hasta llegar a Galileo no existe un hombre científico en cuyos escritos no aparezca el contraste señalado entre la exposición clara y precisa de las ideas generales y lo confuso y vago de las descripciones de los aparatos que traducen dichas ideas a la práctica.

(1) Los lectores que deseen examinar este diagrama encontrarán una exacta reproducción de él en la obra de sir David Brewster titulada *Treatise on the Stereoscope* (Londres, 1856), pág. 8.

pués, al regresar a su país, fué encarcelado por Urbano VIII y murió en la prisión. Fué sentenciado después de su muerte, acaecida en 1664, a ser quemado con sus obras.

Llegamos ahora a los comienzos del siglo XVII, época de la invención oficial, por decirlo así, del anteojo y del microscopio. Entre los años 1600 y 1610 ambos instrumentos tomaron carta de naturaleza; comenzaron a usarse y a venderse como aparatos de investigación científica, y son varios los sabios de aquel tiempo que se atribuyen su paternidad. Los dos se inventaron al mismo tiempo; tanto es así, que hay quien asegura hubo confusión intencionada al atribuir a Jansen la invención del anteojo, siendo así que lo que en realidad había inventado era el microscopio.

Ya hemos dicho que estamos usando la palabra *anteojo* para evitar confusiones, y que los autores antiguos usaban la de *telescopio* para designar instrumentos que aumentaban los objetos a distancia. Conviene, sin embargo, insistir en esto.

¿Qué se entendía en aquel entonces por telescopio? Desde luego no era, como ya hemos dicho, lo que hoy se entiende por tal. El instrumento astronómico con espejo reflector, que hoy se llama *telescopio*, no era conocido entonces. El telescopio de Galileo, del cual se conservan datos indiscutibles, era la combinación de una lente biconvexa colocada en el extremo de un tubo, con otra lente bicóncava colocada en el extremo opuesto, donde se aplicaba el ojo del observador. Esto es, el telescopio de Galileo era lo que hoy llamamos un *sistema de Brücke*. Y por los datos que se tienen de otros instrumentos contemporáneos del de Galileo resulta verosímil pensar que eran semejantes a éste, o, por lo menos, que estaban basados en el mismo principio óptico. Esto tiene importancia, porque tal vez ello solo baste para explicar esa confusión entre las fechas

de invención de ambos instrumentos, el telescopio y el microscopio.

En efecto, es un hecho de sobra conocido y que se deduce de la explicación misma del sistema de Brücke que éste puede funcionar lo mismo como anteojo que como microscopio ; esto es, que con él se pueden formar imágenes tanto de los objetos que están muy alejados de la lente biconvexa como de los que estén muy próximos a ella, con tal que la distancia que media entre dicha lente y la bicóncava se gradúe convenientemente.

Es, por tanto, bastante verosímil que el operador que en aquel entonces usara uno de estos anteojos lo transformase a veces en microscopio, y viceversa. Más adelante, cuando tanto el uno como el otro instrumento se aplicaron a usos diversos modificándose el principio óptico de cada cual, el cambio antedicho no fué posible (ya iremos viendo el porqué) ; pero en la época a que nos referimos, que es el primer tercio del siglo XVII, la diferente aplicación de que hablamos no existía aún.

Sentado lo que antecede, debemos consignar que la opinión universalmente admitida hoy día es que el microscopio compuesto fué inventado, en efecto, en los últimos años del siglo XVI o primeros del XVII, entendiéndose por *microscopio compuesto* el instrumento formado por dos lentes combinadas, de las cuales una, la ocular, amplía la imagen formada por la otra, o sea por el objetivo.

En cuanto al anteojo, ya no hay la misma uniformidad de criterio. Opinan unos, tal vez los más, que Rogelio Bacon hubo de inventar y usar un instrumento que le permitía ver los objetos distantes ; que las descripciones que hace en su *Opus Majus* no se refieren a una cosa posible, pero inexistente, sino a un aparato real, construído probablemente por Bacon mismo, cuyo principio óptico se basaba en la combinación de dos ele-

mentos, y que este aparato lo conocieron y lo usaron Battista Porta y algunos otros experimentadores posteriores a Bacon.

Reconocen, sin embargo, los que así opinan que ni Bacon ni los demás autores citados debieron tener en sus manos instrumentos tan completos y aptos para observaciones astronómicas y terrestres como los que aparecieron en los comienzos del siglo xvii, compuestos de dos lentes montadas en los extremos de un tubo y colocadas a la distancia que exactamente convenía, dada su forma y su curvatura, para que las imágenes alcanzasen su máximo de brillo y de definición; distancia que era igual a la diferencia de las focales de los dos elementos, como debía ser, puesto que uno de ellos, el ocular, era divergente.

Tal es el instrumento cuya invención data de los primeros años del siglo xvii o últimos del xvi. A él es al que nos vamos a referir en todo lo que sigue.

La discusión sobre quién ha sido el inventor del anteojo y quién el del microscopio ha durado casi tres siglos y aun perdura; porque de vez en cuando aparece un artículo con datos encontrados en tal o cual biblioteca, y la cuestión vuelve a estar sobre el tapete. Inútil sería transcribir aquí, ni aun siquiera en extracto, la interminable colección de escritos que sobre tal tema existen. Vamos a hacerlo tan sólo con aquellos que por la autoridad indiscutida de sus autores o por la índole de los datos que han aportado merecen tenerse en cuenta de preferencia a los restantes (1).

La invención del anteojo se la disputan: Metius, Jansen, Lippersheim y Galileo, sin contar otros varios que están hoy día fuera de cuestión.

(1) Debemos advertir una vez más que todas las citas que transcribimos las hemos comprobado por nosotros mismos sobre los textos originales o sobre copias de ellos de autenticidad absolutamente garantizada.

Entre los datos referentes a Metius (1) los dos que vamos a citar prevalecen sobre los demás. El primero se halla en el tratado sobre dióptica de Descartes, el cual afirma de un modo categórico que el antejo ha sido inventado en 1611 por un ciudadano holandés, natural de Alkmaar, llamado Jacobo Metius. Pero Huyghens, en su *Dióptrica*, al mencionar esta opinión de Descartes dice que no es exacto que se construyeran anteojos en Middelburgo (Holanda), en el año 1609, por Juan Lippersheim, según unos, o por Zacarías Jansen, según otros.

El segundo dato es una petición presentada el 17 de octubre de 1608 a los Estados generales de Holanda por Jacobo Adrianszoon, llamado también Metius de Alkmaar, para que se le concediera un privilegio exclusivo para la construcción y venta de anteojos. No ignoraba Metius que poco antes se había presentado a los Estados generales una petición igual a la suya, firmada por Juan Lippersheim; pero alegaba que su descubrimiento era anterior al de éste, porque databa de 1606, cosa que ofrecía probar con varios testimonios.

El profesor Moll, que ha hecho muchas e interesantísimas investigaciones sobre la historia del antejo (2), se inclina a creer que su inventor fué Juan Lippersheim, natural de Wessel y fabricante de gafas en Middelburgo. Ha encontrado en los archivos de la biblioteca de La Haya el acta oficial de los Estados generales de Holanda correspondiente al 2 de octubre de 1608, en la que se acuerda tomar en consideración una petición de Juan Lippersheim demandando se le otorgase una re-

(1) Jacobo Metius, óptico holandés, nacido en Alkmaar, en el último tercio del siglo xvi, y muerto entre 1624 y 1631. Se le conoce también con los nombres de Metius de Alkmaar y de Jacobo Adrianszoon, por ser hijo de Adriano Metius, un célebre matemático e ingeniero militar.

(2) El relato y exposición detallada de estas investigaciones se han publicado en el tomo I de 1831 del *Journal of the Royal Institution*, de Londres.

compensa por un instrumento que había inventado para ver a distancia, y que se le concediese el privilegio exclusivo para fabricarlo durante treinta años. Se resolvió que un Comité de los Estados generales comunicase con el peticionario para ver si podía perfeccionar su instrumento de manera *que se pudiese mirar por él con los dos ojos a la vez*. Lippersheim se ofreció a construir en seguida tres anteojos de cristal de roca al precio de 1.000 florines cada uno, y después de algunas discusiones se convino en que construiría como modelo uno de ellos, destinado al Gobierno holandés, por el precio de 900 florines (unas 1.875 pesetas), de los que se le debían entregar 300 en el acto y 600 cuando el instrumento estuviera terminado.

El 16 de diciembre del mismo año el Comité nombrado informó oficialmente a los Estados generales que había examinado el antejo construido por Lippersheim para ver a distancia con los dos ojos y que estaba en un todo conforme con lo convenido.

En vista de este informe, los Estados generales encargaron a Lippersheim otros dos anteojos iguales al primero y al mismo precio, pero denegaron la petición del privilegio exclusivo para construirlos, fundándose en *que había muchas otras personas que conocían estos instrumentos para ver a distancia*. Los dos anteojos encargados a Lippersheim fueron entregados el 13 de febrero de 1609.

Los argumentos en pro de los hermanos Jansen están rebatidos hoy, y es opinión general que el instrumento inventado por ellos no fué el antejo, sino el microscopio. También se discute la invención de este último, como veremos más adelante.

Quedan, pues, como base dos documentos oficiales, ambos de octubre de 1608, que prueban se conocía en dicha época el antejo, y que por lo menos dos personas, Metius y Lippers-

heim, estaban habituadas a su construcción. ¿Cuál de los dos fué el que en realidad lo inventó? Y suponiendo que ambos conociesen los instrumentos imperfectos de Bacon y de Porta, ¿a cuál de los dos se le ocurrió primero llevar el antejo a la forma relativamente perfeccionada de entonces? No conocemos dato alguno que permita inclinarse al uno al otro.

La posición de Galileo respecto a la invención del antejo es distinta de la de los demás. Él mismo la refiere en una carta que escribe el 10 de marzo de 1610. Supo que se había inventado en Holanda un instrumento para ver los objetos a distancia, sospechó cuál debía ser el principio óptico en que se basaba, estudió el problema y lo resolvió construyendo el antejo que desde entonces lleva su nombre. El texto de su carta es el siguiente :

«Hace cosa de diez meses oí decir que un belga había inventado un *vidrio* por medio del cual se veían distintamente los objetos situados a gran distancia del observador. Me refirieron algunos experimentos que mostraban los admirables efectos que se obtenían con este instrumento. Pocos días después me fué confirmado esto mismo por carta de mi noble amigo Jacobo de Badorere, de París ; todo lo cual me decidió a investigar por mí mismo cuál podía ser la causa de aquellos efectos y a discurrir sobre los medios de construir un instrumento similar ; lo primero de lo cual conseguí al poco tiempo, ayudado por la doctrina de la refracción. Para la construcción me valí de un tubo de órgano, en un extremo del cual adapté una lente plana por un lado y convexa por el otro, y en el extremo opuesto del tubo puse otra lente plana por un lado y cóncava por el otro. Poniendo el ojo cerca de la lente cóncava vi los objetos tres veces más cerca y nueve veces más grandes que si los hubiese mirado a simple vista. Después hice otro instrumento que hacía apare-

cer los objetos sesenta veces mayores. Finalmente, no economizando ni trabajo ni gastos he conseguido construir un instrumento de tal excelencia que con él se ven los objetos mil veces más grandes y más de treinta veces más cerca que si se vieran con el poder natural de los ojos» (1).

A partir de aquí podemos prescindir ya de todo lo concerniente al antejo, porque este instrumento sigue sus etapas sucesivas de perfeccionamiento con independencia del microscopio. Omitimos, pues, el admirable descubrimiento de Kepler (1611) y los de sus continuadores en la ciencia astronómica.

Respecto al microscopio, hasta mediados del siglo XIX ha sido opinión universalmente admitida la de que había sido inventado por Hans (Juan) y Zacarías Jansen (2), fabricantes de gafas y lentes de Middelburgo, entre 1590 y 1609. Esta opinión era bastante verosímil dado el oficio de los inventores y la génesis probable del microscopio, que lógicamente debió pasar de la lente simple a la combinación de dos de éstas; pero desde la fecha dicha comenzó a señalarse una corriente de opinión en pro de Galileo como inventor del microscopio y del antejo, si bien esto no contradice la posibilidad de que fueran los Jansen los primeros que lo inventaran en Holanda, dado que en aquel tiempo era muy posible y hasta bastante probable que un instrumento dado existiera en un país y hasta se usara varios años sin que se tuviera conocimiento de él en países algo alejados. Lo

(1) Téngase presente que el aumento de este antejo no lo expresa Galileo en *diámetros*, sino en *veces*, y aun cuando no sabemos con exactitud la equivalencia, el examen de instrumentos de aquel tiempo ha enseñado que *veces* quería decir aumento superficial, o sea el cuadrado de los diámetros aumentados.

(2) Este apellido aparece escrito así unas veces, y otras *Zansz* o *Tansz*. Padre e hijo (Juan y Zacarías) trabajaban juntos en su establecimiento de Middelburgo.

ocurrido con el anteojo, cuya invención no llega a oídos de Galileo hasta 1610, es buena prueba de ello.

Aparte de la voz pública, que desde el siglo XVII atribuía a los Jansen la invención del microscopio, hay datos que tienden a probarlo, y entre ellos el contenido en las Memorias de Cornelius Drebbel, contemporáneo de los Jansen (1). Dice éste que Zacarías Jansen presentó en 1590 un microscopio hecho por él para el archiduque Alberto de Austria, el cual lo regaló a Cornelius Drebbel, que vivía, como matemático del Rey, en la Corte de Jaime I de Inglaterra. William Boreel, enviado a Inglaterra por los Estados de Holanda, vió en Londres en 1619, en manos de Drebbel, el microscopio que Jansen había dado al archiduque. Este instrumento medía 18 pulgadas de largo y consistía en un tubo de cobre dorado de dos pulgadas de diámetro soportado por dos delfines esculpidos, apoyados sobre un zócalo de ébano, sobre el cual se colocaba el objeto (2).

No exponemos los demás argumentos en pro de la invención del microscopio por los Jansen, porque no son de reconocida autenticidad.

El principal argumento en pro de la invención del microscopio por Galileo es el que aporta la obra entera del profesor Grovi (3), publicada en 1888, que ha llamado justamente la atención

(1) No hemos podido examinar en persona estas Memorias. El dato que damos está tomado del trabajo del profesor Moll citado antes y cotejado con las citas de las tres obras siguientes:

Servus: *Die Geschichte der Fernhohrs*, Berlín, 1886.

Wüdes: *Geschichte der Optik*.

Sir David Brewster: *Treatise on the Microscope*.

(2) De esta descripción y de otras de microscopios de la misma época se deduce que en ellos el objeto se alumbraba *por reflexión*, y muy probablemente por la luz directa de la habitación. El procedimiento de alumbrado por transparencia es bastante posterior.

(3) Profesor Gilberto Grovi: *El microscopio compuesto inventado por Galileo*, Nápoles, 1888. Edición aparte de las actas de la Real Academia de Cien-

por su irrefutable lógica y por la cuantía y rigurosa exactitud de los documentos en que apoya su opinión.

En la imposibilidad de transcribir íntegro este notabilísimo trabajo, vamos a entresacar de él los datos de más relieve entre los muchos que contiene.

Lo primero que demuestra Grovi en su trabajo es que Galileo en 1610 fué el primero que usó un anteojo a guisa de microscopio compuesto, y no lo fué el fabricante de gafas francés D. Chomez, como se había creído hasta hace poco. Lo demuestra transcribiendo un categórico párrafo de un libro de controversia escrito por el escocés John Wodderhon y publicado en el mismo año 1610 (1). Este microscopio que Galileo y sus contemporáneos usaban alternativamente como tal microscopio o como anteojo, cambiando la distancia entre los elementos, se componía de dos lentes : una, biconvexa, que actuaba como objetivo, y otra, bicóncava, que servía de ocular. El objeto, que sepamos, no se alumbraba por ningún aparato especial, sino por la luz, bien la natural del día o la artificial de lámparas, que había en la habitación y que llegaba directamente a la cara su-

cias Físicas y Naturales de Nápoles. Reproducido en *Comptes Rendus* de 1888, en *Scientific News* del mismo año y en el *J. R. M. S.* de 1889, pág. 574.

Al analizar el trabajo de Grovi se debe tener presente lo que él mismo advierte en una carta dirigida a la Academia de Ciencias de París en 1888 y publicada en *Comptes Rendus* del mismo año, pág. 551, y es que califica como «microscopio simple» a todo instrumento formado por una sola lente o un solo espejo, y como «microscopio compuesto» a cualquier instrumento formado por dos o más lentes o espejos, sea cual sea la manera como estos elementos estén combinados entre sí. Por esto el microscopio compuesto usado por Galileo en este primer experimento era lo que se llamaría hoy una lente de Brücke, y estaba formado por una lente objetiva biconvexa y una ocular bicóncava que, colocadas a conveniente distancia, actuaban como anteojo (telescopio que se decía entonces), que servía para ver objetos lejanos.

(1) El título de este libro es *Quatuor problematum quæ Martinus Horiky contra nuntium sidereum de quatuor planetis novis disputando proposuit confutatio*.

perior de dicho objeto. A este aparato lo designó Galileo con el nombre de *Occhialino*.

A continuación aclara el profesor Grovi otro punto de importancia. Así como Galileo fué el primero en transformar el antejo primitivo en un microscopio, la transformación del antejo de Kepler en un microscopio la hizo por primera vez Cornelius Drebbel en 1621, entendiéndose por antejo de Kepler al aparato formado por dos lentes, biconvexas ambas, una de las cuales actuaba como objetivo y la otra como ocular.

Reproduce después el profesor Grovi algunos párrafos de las obras de Galileo (1), probando que éste, aun entregado como estaba a sus importantes trabajos astronómicos, no dejaba de prestar atención a los microscopios. Uno de ellos es : «Arreglando mi *Occhiale* para que sirva para ver objetos cercanos he conseguido ampliaciones de 50.000 veces y a una mosca se la ve del tamaño de una gallina.» Este párrafo permite formarse idea del aumento del microscopio de Galileo, porque, según asegura Grovi, al hablar de ampliaciones se refería al volumen de los objetos, y, por consiguiente, el aumento lineal, tal y como se expresa hoy de aquel microscopio, debía ser de 36 a 37, que son los que corresponden a la raíz cúbica de 50.000.

Otro dato interesante, tomado de una de las cartas de Peirese que se conservan en la Biblioteca Nacional de París, es : «El *occhiale* del Sr. Galileo, con el que se ve una mosca del tamaño de una gallina, es de su propia invención y se usa colocándolo sobre el suelo en un sitio bien alumbrado. Su altura no excede de la de una mesa de comedor ordinaria.» Esta descripción permite calcular aproximadamente las distancias entre los elementos del microscopio de Galileo. La altura habitual

(1) Todas las citas de Grovi se refieren a las «obras completas» de Galileo, segunda edición, de Florencia.

de las mesas de comedor es de 0,80 metros, y esta misma, poco más o menos, era la distancia entre el ocular bicóncavo y el objeto, puesto que el microscopio se apoyaba sobre el piso. Siendo el aumento de 36 diámetros, la distancia entre el objetivo biconvexo y el ocular debía ser aproximadamente de 0,40 metros.

Una idea bastante completa de cómo era y de cómo se manejaba el microscopio de Galileo, nos la da el siguiente párrafo de una carta escrita por él a Federico Cesí y fechada en Florencia el 23 de septiembre de 1624.

«Envío a V. E. un *occhialino* con el que se ven grandes las cosas más pequeñas, el cual espero dará a usted placer y entretenimiento, como me los ha dado a mí. He tardado mucho en enviárselo porque no he podido perfeccionarlo antes, por haber tropezado con dificultades al cortar y tallar con perfección los vidrios. El objeto se debe colocar en el círculo movable que hay en la base y moverlo para verlo en totalidad, porque lo que se ve en una sola mirada no es sino una pequeña parte. Y a causa de que la distancia entre la lente y el objeto debe ser muy exacta, cuando se examinan objetos que tienen relieve se debe aproximar o alejar el vidrio según que se esté mirando a esta o a la otra parte del objeto, para lo cual el tubo pequeño se ha hecho móvil dentro de su soporte o guía. Se debe usar el *occhialino* con un tiempo claro y con mucha luz o alumbrándolo directamente con el sol, teniendo presente siempre que el objeto debe estar suficientemente iluminado. He contemplado muchos animales con infinita admiración, entre los cuales la pulga es el más horrible, el mosquito y la mosca son más bellos, y he experimentado gran admiración al observar cómo caminan las moscas y otros pequeños animales unas veces sobre el vidrio y otras alejados de él. Pero Vues-

tra Excelencia tendrá la oportunidad de observar miles y miles de otros detalles a cual más curiosos, de los cuales ruego a V. E. me dé cuenta. De hecho, uno puede contemplar indefinidamente la grandeza de la Naturaleza y cuál sutilmente ella trabaja y con cuánta insuperable celeridad.—P. S. El tubo pequeño está hecho de dos piezas y V. E. puede alargarlo y acortarlo a voluntad.»

Trata después el profesor Grovi del origen de la palabra *microscopio*, y aduce argumentos que prueban se debe a Giovanni Faber, entre otros, una carta de éste fechada en 13 de abril de 1625, dirigida a Cesí, miembro de Academia del Lincei.

Se extiende después en una controversia muy larga, que consideramos innecesario reproducir aquí, y viene a parar a la conclusión con que encabeza su trabajo, esto es, que el verdadero inventor del microscopio compuesto fué Galileo en los primeros años del siglo XVII, y que los llamados microscopios holandeses, usados por los Jansen y otros, no eran tales microscopios compuestos, sino lentes simples montadas en tubos y en soportes rígidos que facilitaban su manejo. Repite que el microscopio de Galileo, por lo menos el que usó hasta 1624, se componía de un objetivo biconvexo y un ocular bicóncavo, y que el microscopio compuesto, tal y como es hoy, formado por objetivo y ocular biconvexos ambos, fué inventado por Cornelius Drebbel en 1621.

Concluye describiendo el aparato presentado por el fisiólogo alemán Ernesto Guillermo Brücke en 1651 a la Academia de Ciencias de Viena, destinado a los trabajos de disección principalmente, porque su gran distancia frontal y el diámetro de su campo visual lo hace muy a propósito para ellos. Demuestra el profesor Grovi que este *sistema de Brücke* no es sino el *occhialino* de Galileo hecho con mejores elementos. Y

así es, efectivamente, y así lo ha reconocido el mismo profesor Brücke.

Termina Grovi con un apéndice en el que expone otros argumentos en pro de la invención del microscopio compuesto por Galileo, sacados de cartas encontradas en la Biblioteca Nacional de París por el profesor Antonio Favaro mientras Grovi escribía su trabajo. No añaden nada nuevo a lo ya dicho, por lo cual nos abstenemos de reproducirlos.

Tal es, en síntesis, la argumentación del profesor Gilbert Grovi, cuya lectura no podemos por menos de recomendar a los que se interesen por las investigaciones históricas. Es un modelo de ecuanimidad de juicio, de lógica y de precisión en las citas. Las notas que la acompañan permiten acudir directamente a las fuentes mismas de que toma Grovi sus argumentos.

De este artículo se deduce que en el año 1624, o tal vez algunos antes, se conocían dos formas de microscopios compuestos: la que constaba de un elemento biconvexo y otro biconcavo (*occhiale* de Galileo), y la compuesta de dos elementos biconvexos (anteojo de Kepler transformado en microscopio por Jansen y Drebbel). Se deduce también que, a más de estos dos microscopios compuestos, se usaba el simple, de una sola lente, con forma perfeccionada, que parecía exteriormente a la del compuesto. Además, de la mayor parte de las citas de Grovi se desprende que en aquella época (comienzos del siglo XVII) ya se empezaban a preocupar los hombres de ciencia en el estudio del mundo invisible, y esto a pesar del inmenso interés que en aquel entonces había por los problemas astronómicos, tan magistralmente planteados por Galileo y por Kepler.

Aquí comienza la historia del microscopio compuesto, cuyos sucesivos cambios de forma y perfeccionamientos vamos

a ver ; pero comienza con una seria desventaja para él, cual es la que depende de las dos aberraciones principales de las lentes, especialmente de la cromática. Un objeto visto a través de una lente simple cromática da una imagen más o menos velada y con sus contornos irisados ; pero si se mira este objeto a través de un sistema compuesto, también cromático, los defectos dichos se acentúan considerablemente, y ésta es la desventaja del microscopio compuesto comparado con el simple : la de dar imágenes indiscutiblemente peores para igualdad de aumentos. En cambio, ofrece algunas ventajas de consideración. Es más fácil obtener un aumento dado combinando dos elementos que empleando uno solo, porque no se necesita llegar a radios de curvatura tan pequeños, y, como consecuencia, la construcción de los elementos resulta más fácil y más perfecta, eliminándose así los defectos dependientes de imperfección en las lentes, que pueden ser más graves que los dependientes del cromatismo. Los sistemas compuestos tienen distancias frontales mucho mayores que los simples, y esto entraña una facilidad de manejo bastante mayor, sobre todo cuando se trata de llegar a aumentos de cien diámetros o más. Por último, el campo utilizable en un sistema compuesto es sensiblemente mayor que el de uno simple de igual aumento.

En resumen : el problema para los investigadores del mundo invisible a simple vista en los siglos XVII, XVIII y en gran parte del XIX, hasta la invención del acromatismo, se planteaba en los siguientes términos : con una lente simple, *microscopio simple*, se obtenían imágenes mejores que con el microscopio compuesto, y en cambio con éste se lograban grandes facilidades de manejo. Por esto el microscopio compuesto no desterró al simple, ni mucho menos ; al contrario, parece notarse que los investigadores preferían la lente simple. Los constructores

se preocupaban en perfeccionar tanto el uno como el otro, y aun en el mismo siglo XIX vemos intentos serios de mejorar el microscopio simple apelando a las lentes de zafiro, granate y diamante, que aminoraban las aberraciones sin suprimirlas. De aquí que la historia de ambos microscopios siga íntimamente unida durante todo el período dicho y que continúe así hasta la invención del acromatismo, como vamos a ver en el relato de dicha historia.

Otro físico del siglo XVII a quien también se ha atribuido la invención del microscopio ha sido Fontana (1), el cual dice en su obra *Novæ Terrestrium et Cælestium Observationes*, publicada en 1646, que en el año 1618 había construido un microscopio formado por dos lentes convergentes montadas en tubos que se podían alargar y acortar. En la colección Loan de instrumentos científicos de Londres existía en 1876 un microscopio antiguo, que en un principio se creyó procedía de Jansen, pero que después demostró Mr. Mayall que databa de 1646 y debía atribuirse a Fontana, o por lo menos a alguno de los constructores contemporáneos de éste. El instrumento en cuestión da cabal idea de lo que era un microscopio compuesto de entonces del modelo kepleriano, esto es, formado por dos elementos biconvexos (2).

En el instrumento que describimos las dos lentes biconvexas son iguales y de curvatura muy semejante. Están hechas de un vidrio verdoso bastante transparente, y el pulimento y regularidad de las caras demuestra que fueron fabricadas a torno. La montura de las lentes es un aro de madera en el que

(1) Francisco Fontana, astrónomo italiano nacido en Nápoles, en 1580; muerto en Nápoles, en 1656.

(2) No hemos podido encontrar en Londres este microscopio; pero sí uno de su misma época, al cual hemos ajustado la descripción que hacemos en el texto.

van embutidos los bordes de aquellas que se adaptan a los cilindros de bronce de la montura. Éstos son dos, que enchufan a frotamiento suave y permiten variar la distancia entre el objetivo y el ocular. El diafragma está colocado a menos de la mitad del cono emergente del objetivo y obtura próximamente el tercio de éste. Hay otro diafragma antes del ocular y bastante cerca del plano de la imagen objetiva, obturando la mitad próximamente del haz. En el extremo superior existe todavía un tercer diafragma como en los oculares actuales.

Como se ve, los constructores de microscopios de entonces se preocupaban ya en corregir la aberración esférica y empleaban para ello el único medio a su alcance, que era el empleo de diafragmas. No situaban éstos al azar, sino en los sitios en que su efecto era más eficaz, y les daban un diámetro que no difería mucho del que hoy se sabe debía ser. Así, el microscopio puede servir lo mismo para objetos alumbrados por transparencia que para los que lo estén por reflexión; no hay platina ni nada que se relacione con la posición del objeto ni con la manera de alumbrarlo. En el microscopio que hemos examinado el aumento mayor que se puede obtener, dado el juego que permiten los tubos, es de unos 20 diámetros, y las imágenes, a más de ser muy irisadas, presentan distorsión sensible en los bordes del campo.

A poco de aparecer el microscopio compuesto, y dentro del primer tercio del siglo XVII, se descubre una de las leyes fundamentales de la óptica, una de las que marcan un cambio radical de orientación en los progresos de esta ciencia.

El descubrimiento a que nos referimos es la *ley de la refracción*, y su importancia y trascendencia son tales que bien merece la pena nos detengamos un tanto en esto.

Ya hemos visto que el fenómeno propiamente tal de la

refracción era conocido desde época bien antigua ; que Tolomeo mide por medio de un ingenioso aparato los ángulos de refracción que corresponden a los de incidencia en diversos medios, y que Vitello perfecciona estas medidas. Pero ninguno de ellos llegó a determinar la relación constante que para cada cuerpo media entre el ángulo de incidencia y el de refracción. La única ley general que aquellos investigadores averiguaron fué la de que ambos ángulos están contenidos en el mismo plano que contiene también la normal a la superficie en el punto de incidencia. Kepler y Tycho Brahe adivinaron la existencia de una ley que debía ligar a los dos ángulos, e hicieron muchos y vanos esfuerzos para averiguarla. La gloria de este descubrimiento pertenece a Snellius (1) según unos, y a Descartes según otros, y la controversia entre las dos opiniones ha durado muchos años. Hoy es cosa casi generalmente aceptada que Snellius descubrió la ley y la expresó en forma geométrica, y Descartes lo hizo poco después en la forma trigonométrica hoy conocida llamada *Ley de los senos*.

Snellius, comprendiendo la importancia que había alcanzado la teoría de la refracción a causa de la invención del antejo, se decidió a investigar su ley, y después de muchos experimentos consiguió su propósito ; pero dando a dicha ley expresión geométrica.

Huyghens, al comentar el trabajo de Snellius dice que éste

(1) Snell van Roijen (Villebrord), más conocido con el nombre de Snellius. Matemático y astrónomo nacido en Lyde, en 1591 ; muerto en Lyde, en 1626. Hijo de Rodolph Snell, profesor de Matemáticas en Lyde. Residió algún tiempo en Alemania, donde estuvo en relación con Kepler y Tycho Brahe, y a su vuelta a Lyde sucedió a su padre en la cátedra de Matemáticas. Es autor de varias obras de Astronomía, de un tratado de navegación titulado *Typhus Batavus* (1624) y de la primera medida trigonométrica que se conoce del arco de meridiano, la cual no dió resultado satisfactorio a causa de la imperfección de los aparatos y de que la base medida era muy corta.

no se dió cuenta del verdadero alcance de su descubrimiento y no imaginó que la relación geométrica encontrada por él era la ley de los senos.

Aducen otros comentadores que no es verosímil que un buen matemático como era Snellius ignorase la expresión trigonométrica tan sencilla de esta ley, y se inclinan a pensar que Snellius prefirió adrede la forma geométrica de expresión por varias razones, y entre otras porque determina mejor que la trigonométrica el aspecto físico del fenómeno, dando, además, un medio más sencillo de obtener por proyección el rayo refractado, conociendo el incidente.

En el año 1637, o sea once años después de la muerte de Snellius, publicó Descartes (1) su *Dióptrica*, en la cual, sin mencionar el nombre de Snellius ni aludir a sus trabajos, enuncia la ley de refracción (ley de los senos) en la forma con que hoy se la conoce. Como el trabajo de Snellius no se había impreso todavía y sólo existía en forma de manuscrito, es posible, en rigor, que Descartes no conociese su contenido; pero a esto Vossius, uno de los comentadores de Snellius, dice en su obra *De Natura lucis* que los herederos de Hortensius habían comunicado a Descartes todos los manuscritos de éste, entre los cuales estaba el trabajo de Snellius, lo que también confirma Huyghens.

(1) René Descartes, nacido el 31 de marzo de 1596 en La Haya (Turena, Francia). Muerto en Estocolmo el 11 de febrero de 1650. Uno de los genios más grandes de la Humanidad, como lo atestiguan sus obras de filosofía, matemáticas, física y óptica. Su biografía es sobrado conocida para que la reproduzcamos aquí.

La primera edición completa de las obras de Descartes está en latín, y se imprimió en Amsterdam, en 1650. La primera edición francesa es de París y está fechada en 1701. En 1824-1826 publicó Victor Cousin una de las ediciones más completas y mejor revisadas de las obras de Descartes que hasta hoy existen. Consta de once volúmenes en octavo. Existen otras muchas, así como innumerables traducciones en casi todos los idiomas.

De aquí que no se pueda aceptar como verdad indiscutible la afirmación que hace Biot (1) atribuyendo a Descartes el descubrimiento de la que Biot llama *la gran propiedad de la luz*. Su apasionamiento para con Descartes llega hasta atribuir a éste el descubrimiento de que el rayo incidente y el refractado están en el mismo plano, lo que hemos visto, era conocido ya por Tolomeo. Contra la opinión de Biot surgen las de Huyghens, Montucla, Priestley, Young y Playfair, que reconocen a Snellius la justa parte que le corresponde en el descubrimiento, parte que es la que acabamos de explicar. Playfair, en su *Disertation*, resume la controversia en esta forma: «No hay duda de que el descubrimiento lo hizo primero Snellius; lo que resulta discutible y lo que hasta hoy no se ha podido averiguar por falta de datos es si Descartes dedujo la ley de los senos del trabajo de Snellius, o si la descubrió sin tener conocimiento de este trabajo, siendo así *el segundo inventor* (reinventor) de la ley de la refracción.»

En la *Dióptrica* de Descartes hay valiosísimos datos concernientes a la microscopía. El capítulo VIII de dicha obra está dedicado a estudiar la forma que deben tener los cuerpos transparentes refringentes para reunir los rayos en su foco. El IX trata todo él de los microscopios simples y compuestos, y el X y último describe los procedimientos para tallar y pulimentar las lentes.

Ya se había averiguado antes de Descartes que las superficies esféricas eran incapaces de reunir a todos los rayos en un punto único, anulando la aberración esférica. Kepler emitió la hipótesis de que dicha reunión se podía conseguir por medio de superficies engendradas por la revolución de secciones cóni-

(1) *Traité de Physique*, tomo III, pág. 204.

cas ; pero en el campo de la práctica no hubo de añadir nada a la resolución del problema. Descartes lo aborda de frente y lo discute bajo todos sus aspectos en el capítulo VIII de su *Dióptrica*, llegando a la conclusión de que tanto los haces de elementos paralelos como los convergentes y divergentes se pueden hacer converger y reunir en un punto único por medio de superficies de generatriz elíptica o hiperbólica, con lo cual quedó fundada la teoría de las lentes no esféricas. Demostró matemáticamente que si tales lentes se fabricasen, los aparatos todos de óptica alcanzarían por este solo hecho el máximum de perfección a que se podía aspirar suprimiendo la aberración esférica (1).

Trató de llevar esto a la práctica y proyectó máquinas para tallar y pulimentar lentes con superficies de aquella forma, y en el capítulo X de su *Dióptrica* las describe y da de ellas dibujos en perspectiva. Durante los años 1626 y 1627 que estuvo residiendo en París, en unión con su amigo M. Mydorgius, se dedicó a fabricar por sí mismo dichas lentes y pronto se hizo un maestro en este arte. Consideró necesario, sin embargo, asociarse con un especialista en fabricación de instrumentos de óptica y lo hizo con Mr. Fevrier, que conocía a fondo la teoría y la práctica de ella. Después de múltiples ensayos consiguieron obtener lentes hiperboloídicas convexas bastante exactas, pero no así lentes cóncavas, el tallado y pulimento de las cuales resultó ser incomparablemente más difícil, pues tras de algunos años de trabajo hubieron de desistir de la empresa, habiendo gastado en el laboratorio y en el taller anejo a él una suma de bastante consideración. Hizo

(1) Aun cuando Descartes no menciona taxativamente la aberración cromática, se desprende de sus escritos que se daba cuenta de ella y también de su relativa independencia de la otra aberración ; de la esférica.

Descartes una segunda tentativa asociándose con Huyghens, padre del celebrado filósofo y físico, y con algunos operarios hábiles de las fábricas holandesas de lentes; pero tampoco esta tentativa tuvo buen éxito, debido a la misma causa que la primera, a dificultades punto menos que insuperables en el tallado y pulimento de superficies distintas de la esférica, sobre todo cuando eran cóncavas.

Omitimos relatar los trabajos de Descartes sobre la visión y sus explicaciones de los fenómenos ópticos y meteorológicos, por ser ajenas a la historia de la microscopía y no porque tales trabajos dejen de ser importantes (1).

Por la misma razón prescindimos de exponer los notables estudios del Padre jesuíta Cristóbal Scheiner (2), que completó la teoría de la visión explicando el fenómeno de la dilatación y reducción de la pupila, según que se mirasen objetos distantes o cercanos. Fué el primero que midió el índice de refracción del líquido cristalino y el primero en demostrar que la retina y no el cristalino es el asiento de la visión. Se atribuye también a Scheiner el primer aparato de proyección solar, que consistía en un antejo que proyectaba sobre la pared blanca de una habitación a oscuras el disco del Sol con sus manchas.

El año 1669 marca la fecha de otro importante descubrimiento óptico: del fenómeno de la doble refracción de la luz. Un físico dinamarqués llamado Erasmus Bartholinus (3) reci-

(1) Están expuestos con admirable claridad en la obra de Descartes titulada *Traité des Meteores*.

(2) Cristóbal Scheiner, astrónomo alemán nacido en Wald, cerca de Mindelheim, en 1573. Muerto en Neisse (Silesia), en 1650. Entró en la Compañía de Jesús en 1595. Su obra fundamental sobre óptica se titula *Oculus sive fundamentum opticum*, impresa en 1619. Es autor de otras varias obras notables sobre Matemáticas y Astronomía.

(3) Nacido en Roeskilde (Dinamarca), en 1625; muerto en Copenhague, en 1698. Médico y matemático notable, de cuyas dos ciencias fué profesor en

bió de unos mercaderes daneses que frecuentaban Islandia unos cristales transparentes de forma romboédrica, que conservaban esta misma forma cuando se los partía en trozos pequeños. Esta substancia recibió el nombre de Espato de Islandia, y con ella hizo Bartholinus varios experimentos interesantes que publicó en un libro titulado *Erasmi Bartholini. Experimento Crystalli Islandici Disdiaclastici quibus mira et insolita Refractio detegitur*, dedicado al Rey de Dinamarca Federico III e impreso en Copenhague, en 1669. Contiene este interesantísimo libro 17 experimentos y 12 proposiciones que son un sumario exacto y claro del complejo fenómeno de la doble refracción. Demuestra que uno de los rayos refractados sigue la ley de Snellius (1) y que la relación para él es la de 1 : 1,667, y que el otro se refracta según una ley distinta de la ordinaria (*ley extraordinaria* la llama Bartholinus), no observada hasta entonces. Consigna también el fenómeno anormal de las seis imágenes que ofrecen algunos ejemplares, pero no lo interpreta bien, pasándole inadvertido el que esto sólo ocurre con ejemplares compuestos, o maclas.

Este descubrimiento de Bartholinus fué comunicado a la Royal Society (2) de Londres e impreso en el número 67 de

Copenhague; pero distinguiéndose más en la segunda, de la que ha dejado escritas varias obras notables.

(1) Es digno de mención que en todos sus experimentos se valga Bartholinus de la expresión geométrica de Snellius, y no de la ley de los senos de Descartes, ya publicada en su *Dióptrica*. Esto viene en apoyo de la opinión antes consignada sobre el verdadero descubridor de la ley de la refracción.

(2) Esta Sociedad ya había alcanzado entonces gran reputación científica. Ha sido, tal vez, el Centro cultural más importante del mundo en los siglos XVII, XVIII y primera mitad del XIX, en cuya fecha otras Sociedades que se habían fundado para fomentar especialidades científicas aminoraron el campo de acción de la Royal Society, ya que no su nivel científico, que era y sigue siendo muy alto. La Microscopía debe mucho a la Royal Society, y en ésta se dieron a conocer los principales inventos de aquélla. A partir de la fundación de la Royal Microscopical Society (1839), ésta asumió todo lo concerniente a la ciencia del microscopio.

sus *Transactions*. Llamó grandemente la atención del celebrado hombre de ciencia holandés Cristian Huyghens (1), que siendo autor de una teoría nueva sobre la refracción quiso saber si los experimentos de Bartholinus la apoyaban o la contradecían. El capítulo V de su *Traité de la Lumière* versa sobre la doble refracción y se titula «De l'Étrange Refraction du Cristal d'Islande». Esta obra fué leída en 1678 a Cassini, Boemer, De la Hire y otros miembros de la Real Academia de Ciencias, pero no se imprimió hasta 1690, cuando Huyghens había vuelto a La Haya. Esta obra contiene la totalidad de los trabajos sobre óptica del célebre físico. Existen de ella excelentes ediciones en francés.

La obra de Huyghens en óptica es considerable. Ya que no podemos exponerla por entero, vamos a detallar lo que de ella atañe más especialmente a microscopía.

La teoría de las ondulaciones es uno de sus descubrimientos. La expone en cuatro capítulos del *Traité de la Lumière*, con la hipótesis de que la luz se transmite lo mismo que el so-

(1) Célebre matemático y físico holandés nacido en La Haya, el 14 de abril de 1629; muerto en La Haya, el 8 de junio de 1695. Segundo hijo de Constantino Huyghens. Siendo aún joven había adquirido alta reputación como matemático y como astrónomo. En 1666 fué invitado por Colbert (ministro de Luis XIV) a establecerse en Francia. Al aceptar, fué pensionado por Luis XIV, alojado en la Biblioteca del Rey y nombrado miembro de la Academia de Ciencias (desde la fundación de ésta), en la que desempeñó un papel preponderante. Al revocarse el edicto de Nantes, en 1681, tuvo que volver a su patria, en la que habitó hasta su muerte.

Huyghens se distingue, entre otras grandes cosas, por haber sido tal vez el primero que cultivó las Matemáticas desde el punto de vista de sus inmediatas aplicaciones prácticas. Toda su obra científica viene en apoyo de este aserto.

Las obras de Huyghens están impresas por separado en multitud de ediciones y traducidas a casi todos los idiomas europeos. La Sociedad Holandesa de Ciencias ha comenzado hace poco la publicación de las obras completas de Huyghens.

nido, por medio de ondas que se propagan en un medio etéreo muy elástico, y aplica esta hipótesis a la explicación de los fenómenos de la reflexión y la refracción. Esta afirmación, desarrollada después por Euler, el Dr. Joung y otros, es la universalmente admitida hoy para explicar la transmisión de la luz.

Aplicando el mismo criterio explica el fenómeno de la doble refracción y demuestra por medio del cálculo matemático que la relación de las dos refracciones, la ordinaria y la extraordinaria, determina la forma de la elipse generatriz del elipsoide. Estos cálculos, que concuerdan exactamente con el resultado de los experimentos, han sido considerados por algunos comentaristas de Huyghens como uno de los descubrimientos más notables de cuantos se han hecho en óptica. Son la base del concepto de los elipsoides de elasticidad y de índices, desarrollado después por Fresnel.

Hizo también el descubrimiento de lo que él mismo llama maravilloso fenómeno (1), que es la polarización de la luz, observada en los dos rayos refractados por el espato de Islandia. La génesis de este descubrimiento y la hipótesis de Huyghens para explicarlo son dignas de estudio, pero su exposición nos obligaría a introducir un paréntesis muy largo para este Discurso.

Escribió después Huyghens su tratado sobre *Dióptrica*, que no se publicó hasta después de su muerte. En él describe con extensión las propiedades de cuantas formas de lentes se conocían entonces y las que resultan de la combinación de las mismas, entre las cuales figura la del ocular que lleva su nombre. En esta obra desarrolla más la explicación de la aberración de esfericidad, que ya había dado en el capítulo VI de su *Traité de la Lumière*.

(1) *Traité de la Lumière*, pág. 88.

Huyghens fué además fabricante de aparatos de óptica y el primero que construyó anteojos de gran tamaño, alguno de los cuales medía hasta 123 pies de distancia focal: con él descubrió el cuarto satélite de Saturno. Como resultaba imposible montar estos objetivos sobre tubos de tan enorme longitud, inventó Huyghens el procedimiento de usarlos sin tubo, montándolos en el extremo de un poste rígido.

Se conservan algunos ejemplares de los microscopios de aquella época. Uno de ellos se atribuye a Giuseppe Campani y su fecha de construcción es la de 1660. Existe una descripción bastante completa de los microscopios de entonces, debida a M. de Monconys y publicada en el diario de viajes de éste en 1665. El microscopio se componía de tres lentes, un objetivo simple y uno ocular doble, o sea con lente de campo. Los datos que da Monconys son: distancia del objeto a la primera lente (objetivo) igual a una pulgada y media; foco del objetivo, una pulgada; distancia entre el objetivo y la lente inferior del ocular, quince pulgadas; foco de la lente inferior del ocular, pulgada y media; distancia entre las dos lentes del ocular, una pulgada y ocho líneas; foco de la tercera lente (la superficie del ocular), una pulgada y ocho líneas. Como se ve, este ocular pertenece ya al tipo de los modernos, y su lente de campo está situada en el plano focal de la lente superior.

Existe en este microscopio una platina cuya distancia al tubo se hace invariable por medio de tres columnas que soportan éste. En dicha platina hay un mecanismo para sujetar el objeto. La distancia entre el objetivo y el ocular se podía variar por medio del piñón y cremallera que relacionan la parte superior del tubo con la inferior, y también la distancia entre el conjunto óptico y el objeto, merced a la rosca de pequeño paso que une el tubo inferior con el arco-soporte. Esta rosca servía para

enfocar, y es digno de atención que en estos microscopios primitivos se hiciera ya esta operación moviendo a un tiempo el ocular y el objetivo, y no este último solo, como se ensayó después con mal resultado.

El Dr. Dallinger atribuye a Monconys mismo la invención de la lente de campo. Otros la atribuyen a Huyghens ; pero no hay datos suficientes para poder dilucidar este punto, el cual tampoco es de grande importancia.

El astrónomo y óptico inglés James Gregory (1638-1675), inventor del telescopio de reflexión (telescopio propiamente dicho, tal y como hoy se le conoce), no añade nada al progreso del microscopio.

Otro importante descubrimiento en el siglo XVII, que vino a influir después considerablemente en la microscopía, es el de la difracción de la luz y el de las interferencias. Se debe este descubrimiento a Francisco Maria Grimaldi (1) y está consignado en la obra de este físico titulada *Physico-mathesis de Lumine Coloribus, et Tride aliisque annexis*, publicada en Bolonia, en 1665. Su experimento fundamental consistió en introducir un haz de luz en una habitación a oscuras y a través de un agujero muy pequeño. Se formó un cono de luz en el cual los cuerpos tenían sus sombras más anchas que si los rayos pasasen en línea recta por los bordes. Vió las franjas coloreadas en número de dos, tres o cuatro, según la intensidad de la luz. Después, haciendo en la ventana de la habitación dos agujeros muy próximos, observó que cuando, a bastante distancia de estos agujeros, se superponían los dos

(1) Nacido en Bolonia, en abril de 1618 ; muerto en dicha ciudad, en diciembre de 1636. Jesuita y profesor del Colegio de esta Orden en Bolonia. Sus descubrimientos en óptica se consideran como el punto de partida de los de Newton.

conos, había puntos en que esta superposición, en vez de originar más luz, producía obscuridad. De estos experimentos dedujo la proposición siguiente : «Un cuerpo alumbrado puede resultar más obscuro añadiendo nueva luz a la que primero recibía.»

Esta misma consecuencia fué comunicada a la Royal Society en 1672 por el Dr. Robert Hooke (1635-1703), que no conocía entonces el descubrimiento de Grimaldi. El título de su comunicación es : «Descubrimiento de una nueva propiedad de la luz no mencionada hasta ahora por ningún escritor sobre óptica.»

A esta propiedad la llamó *deflection*, insistiendo y demostrando que era distinta de la reflexión y refracción, y dando sus leyes. Después de conocida la obra de Grimaldi quedó sentada la prioridad de éste en el descubrimiento.

El Dr. Hooke es autor de otras varias invenciones de óptica que están consignadas en su obra *Micrographia* (Londres, 1665). En ella se encuentra la descripción y la figura del microscopio perfeccionado por él. Ambas marcan cierto avance en la disposición general del instrumento.

Lo primero que salta a la vista en la descripción de Hooke es la disposición del ocular y el fin que en aquel entonces se perseguía con la lente de campo. No se trataba con ella de corregir parte de la aberración esférica, sino simplemente aumentar el diámetro del campo visual. Hooke había adoptado el ocular doble de Monconys, y dice *lo usaba solamente cuando quería ver de una vez una zona grande del objeto* ; pero cuando necesitaba ver con mayor aumento una parte de aquél y no interesaba que esta parte fuese muy extensa, quitaba la lente intermedia (lente de campo) y usaba tan sólo los dos extremos, esto es, el objetivo combinado con una sola lente ocular.

El tubo del microscopio estaba montado sobre un aro, en

el que entraba a rosca, y dándole vueltas se aproximaba o se alejaba del objeto el sistema óptico entero, enfocándose sobre aquél. Se había suprimido la cremallera intermedia del microscopio de Campani, que servía para acercar el objetivo al ocular (1), porque se había visto era inútil, y tanto en el modelo de Hooke como en los de sus sucesores la distancia entre ambos elementos era invariable. El tubo se podía inclinar merced a un juego de nuez, y éste fué el primer modelo de microscopio en que tal cosa era posible.

La platina era una pieza redonda fija al extremo de la corredera que podía avanzar, retroceder y girar con ella para que el objeto se situase exactamente sobre la prolongación del eje óptico del sistema. En uno de los bordes de la platina se elevaba una pequeña columna que soportaba un estilote giratorio sobre su eje, en cuya punta se pegaba con cera el objeto que se iba a examinar. Debajo de él había un disco negro para obtener un fondo opaco que aumentaba el contraste (2).

Como se ve, el microscopio de Hooke estaba dispuesto para el examen de cuerpos opacos y aun no se había previsto en él la necesidad de estudiar objetos que por su pequeñez, su transparencia, o por estar preparados al efecto, dejasen pasar la luz a través de ellos y fuera ventajoso examinarlos alumbrándolos por debajo.

(1) Esto equivale a modificar la longitud óptica del tubo, cosa que no se ha hecho después de Campani hasta época muy reciente, cuando la precisión de los sistemas ópticos ha obligado a emplearlos con una longitud de tubo exactamente ajustada a sus correcciones. Esta rosca es uno de tantos órganos que aparecen, desaparecen y vuelven a aparecer después, mostrando la serie de tanteos empíricos que ha exigido el microscopio para llegar a su perfección actual.

(2) Este disco es el origen de los fondos negros que en los microscopios modernos se obtienen, bien por el mismo procedimiento de Hooke, bien por medios ópticos, como en la ultramicroscopía.

Anejo al microscopio y montado en un soporte aparte había un aparato de alumbrado para cuerpos opacos que se asemejaba bastante a los actuales. En el centro de una base redonda se elevaba una columna que soportaba la lámpara y el colector, los cuales se podían mover con independencia uno de otro. La lámpara de aceite con su depósito se fijaba por medio de un tornillo de presión, y lo mismo se hacía con el colector. Este se componía de dos elementos: una bola de vidrio llena de agua y una lente plano-convexa, la cual se podía enfocar y colocar en cualquier posición respecto al objeto, merced a un brazo articulado que la soportaba. Si se compara este aparato de alumbrado con los de bola, colector y otros empleados hoy día, se verá que el fundamento óptico de todos ellos es el mismo.

Este microscopio tiene, a nuestro juicio, defectos serios de disposición mecánica. El principal de ellos es lo deficiente de la disposición para enfocar. Dar vueltas al tubo entero cambia su posición respecto al objeto, y esto por muy bien hecha que esté la rosca. Más sencillo y más práctico hubiera sido un simple tubo de enchufe a frotamiento suave. La disposición para inclinar es débil y poco estable, a más de innecesaria en aparato tan elemental. Se consigue con ella la comodidad de la posición inclinada, pero ésta resulta ampliamente contrarrestada por la debilidad de los órganos que alteran al menor esfuerzo la posición del tubo. Sobran medios para situar el objeto en una posición dada. En cambio, el aparato de alumbrado nos ha parecido irreprochable, dada la época de su construcción (1).

(1) Estas observaciones nos las ha sugerido el examen y la manipulación que en persona hemos hecho de un microscopio casi idéntico al descrito, que puso a nuestra disposición uno de nuestros amigos de Alemania.

Mientras tanto el microscopio simple continuaba usándose y se habían introducido en él algunas modificaciones que aumentaban la facilidad de su empleo para el estudio de los seres invisibles a simple vista. De esta época datan los descubrimientos de uno de los naturalistas más eminentes : del justamente celebrado Antony Van Leeuwenhoek (1).

En su obra *Arcana Naturæ*, etc. (véase la nota), describe Leeuwenhoek los modelos de microscopios entonces existentes, y asegura que con ninguno de ellos ha obtenido resultados tan favorables como con los simples fabricados por él mismo ; y es un hecho probado que los siguió empleando hasta el fin de su vida. Al morir legó una colección, compuesta de 26 microscopios de los suyos, a la Royal Society ; pero, desgraciadamente, esta colección ha desaparecido de modo misterioso. Después Mr. Mayall encontró un microscopio de Leeuwenhoek en el Museo de la Universidad de Utrech, y éste ha servido para completar las explicaciones que Leeuwenhoek da en su obra.

La disposición general es la siguiente : En el tercio supe-

(1) Nació en Delft (Holanda), el 24 de octubre de 1632 ; muerto en Delft, el 26 de agosto de 1723. Leeuwenhoek es uno de esos ejemplos, tan frecuentes en Inglaterra y menos frecuentes en el continente europeo, de hombres que, sin ser profesionales, se distinguen como eminencias científicas. Hasta la edad de veintidós años fué tenedor de libros y cajero en una casa de comercio de Amsterdam. A partir de esa edad se empezó a dedicar a las ciencias naturales, y sus principales preocupaciones fueron la de construir microscopios y la de estudiar el mundo que se veía con ellos. Su nombre empezó a adquirir fama en 1673, fecha en que su amigo Graaf comunicó los primeros trabajos de Leeuwenhoek a la Royal Society de Londres. Sus principales descubrimientos son : la función de los vasos capilares en los organismos, los glóbulos de la sangre, que Malpighi había tomado por glóbulos de grasa, y, sobre todo, los descubrimientos que hizo de infusorios, espermatozoides y otros organismos. En el reino vegetal estableció la diferencia entre monocotiledóneos y dicotiledóneos. En microscopía dominó cuanto se conocía entonces y perfeccionó no poco de ello.

Notable característica de Leeuwenhoek es que toda su educación se la debe

rior de una chapa de cobre hay una pequeña prominencia que sirve de alojamiento a la lente simple biconvexa, que es el único elemento óptico de este aparato. La lente va montada entre dos placas delgadas de metal, con agujeros pequeños uno frente a otro, que además de soportar la lente actúan como diafragmas, no dejando libre mas que la parte central de aquélla. A uno de los agujeros se aplicaba el ojo y ante el otro se colocaba el objeto. Cogiendo el aparato con la mano se le podía dirigir hacia la luz y examinar el objeto por transparencia. Leeuwenhoek es el primero que emplea este procedimiento de alumbrado para estudiar los cuerpos. Éstos se fijan a la punta de un tornillo fileteado que puede subir o bajar y avanzar o retroceder, actuando, además, como un resorte por la compresión que sobre él ejerce la tuerca que une su extremo anterior a la placa.

En instrumento tan sencillo no merecía la pena cambiar de lente cada vez que se pasaba de un aumento a otro. Era, además, operación difícil y delicada la de montar las pequeñas lentes que se usaban dentro de sus placas metálicas. Por esto, Leeuwenhoek usaba un microscopio distinto para cada au-

a sí mismo, no habiendo pisado aulas ni adquirido una cultura seria. Ignoraba el latín, que era el idioma científico de su época; sólo hablaba el holandés, y esta carencia de instrucción la suplía con su clarísimo talento, su infatigable laboriosidad y con una habilidad manual realmente prodigiosa.

La mayor parte de sus trabajos están hechos en forma epistolar por comunicaciones dirigidas a la Royal Society de Londres. La primera edición completa de sus obras está hecha en Lyde, con fecha 1715 a 1722, y consta de cuatro volúmenes en 4.º

La obra clásica en microscopía de Leeuwenhoek es la titulada *Arcana Naturæ ope et beneficio exquisitissimi morum Microscopiorum detecta, variisque experimentis demonstrata una cum discursu et ulteriori dilucidatione*. De ella existe una excelente recopilación inglesa, en la que se han reunido también otros trabajos sobre microscopía de Leeuwenhoek. Se titula *The Select Works of Antonii van Leeuwenhoek; containing his Microscopical Discoveries*. Dos volúmenes en 4.º Londres, 1816.

mento, y se sabe que los tenía desde 40 diámetros hasta 270 (1).

Lo importante en estos microscopios era la construcción de la lente. Hoy día se sabe que se empleaban dos procedimientos : el de tallar y pulimentar las lentes a torno, con aparatos parecidos, aun cuando incomparablemente menos perfectos que los actuales, y el de fundir globos esféricos de vidrio guardando determinadas precauciones. El primero no tendría objeto describirlo aquí, porque forma parte de la tecnología moderna y está descrito en cuantas obras tratan de ésta ; pero el segundo, por no estar ya en uso y por ser el que empleaban Leeuwenhoek y sus contemporáneos, merece le dediquemos un breve párrafo.

«Para obtener glóbulos perfectos se han de cumplir dos condiciones : que estos glóbulos tengan forma esférica y que estén exentos de burbujas. Se toma un trozo de vidrio fácil de fundir y bien blanco. Dirigiendo sobre él la llama de un soplete, el vidrio se resquebraja y se obtienen esquirlas alargadas (de cinco a seis milímetros son las mejores), en cuya obtención no ha intervenido el diamante que sirve para cortar vidrios. Esto es esencial, porque aun los mejores diamantes producen en los bordes de sus cortes escotaduras y estrías que luego, al fundir el vidrio, forman burbujas. Estas esquirlas se calientan lentamente en la llama del soplete hasta que poniéndose pastosas y estirándolas un tanto toman la forma de un cilindro de medio milímetro de diámetro próximamente. Se examinan entonces una a una con la lente para escoger las más

(1) Según asegura el Dr. Van-Heurk, con uno de estos últimos ha podido resolver el profesor Hartings el grupo número 4 del testigo de Nobert, que contiene 1.108 líneas por milímetro. Nosotros, con un microscopio simple de fines del siglo xvii y muy semejante a los de Leeuwenhoek hemos visto bastante bien indicados los sistemas de estrías de *Navicula Lyra*.

puras, o sea las que estén libres de burbujas. Las escogidas se reblandecen y estiran de nuevo hasta que resulten hilos de vidrio grueso proporcionado al diámetro del glóbulo que se desea obtener. Sólo resta entonces fundir estos glóbulos, para lo cual se corta en la llama, cuando está pastoso, un trozo de hilo de longitud adecuada, y cogiéndolo con las pinzas por un extremo se presenta el otro a la llama intensa del soplete, se funde, toma forma esférica y se contrae hasta cerca de las pinzas, no llegando nunca a éstas la fusión, porque su masa basta para impedir se eleve la temperatura hasta la fusión del vidrio en el punto de contacto con las pinzas. El glóbulo queda unido por un pedúnculo, el cual se corta en su contacto con la esfera. Al montar el glóbulo, se coloca este corte de costado para que no estorbe. La operación resulta mejor si se hace con el hilo en posición vertical para que el glóbulo fundido se forme en su extremo inferior. Resultan tanto más esféricos y perfectos cuanto más pequeños son (1).

Sir Isaac Newton (2) es uno de los hombres de ciencia

(1) Este *modus operandi* lo hemos visto descrito en el libro de Van Heurck *La Microscope*, el cual lo ha tomado de tratados óptica antiguos, en algunos de los cuales lo hemos leído también nosotros. Siguiéndolo, y valiéndonos de agitadores de vidrio de los que se emplean en los laboratorios de química, hemos fabricado varias lentes esféricas con relativa facilidad.

(2) El célebre físico-matemático inglés nació en Woolsthorpe, el 25 de diciembre de 1643, y murió en Londres, el 20 de marzo de 1726. En sus primeros años mostró cierta disposición por la mecánica, construyendo por sí mismo juguetes ingeniosos; pero hasta 1661, que ingresó en el Trinity College de Cambridge, no demostró su excepcional capacidad para las matemáticas. Tuvo la suerte de contar entre sus maestros a Barrow, uno de los primeros matemáticos de su época, y guiado por él se familiarizó con las obras de Aristóteles y Kepler. Uno de sus primeros trabajos es el desarrollo de las series, que dió por resultado el famoso *binomio* que lleva su nombre. La convalecencia de una enfermedad le obligó a descansar en Woolsthorpe, al lado de su madre, y allí fué adonde se dice ocurrió la famosa caída de la manzana que le llevó a descubrir por intuición la ley de la gravedad. Esta anécdota se hizo pública por Voltaire, que la había oído referir a Mme. Conduit, sobrina

que más han contribuído a los progresos de la óptica y al que se debe que esta ciencia entrase definitivamente en el campo de las matemáticas. Su primer descubrimiento en óptica es la *diferente refrangibilidad de la luz*, con la demostración de que la luz blanca se compone de infinidad de elementos con índices de refracción diferentes que dan lugar a los colores. De ella se vale para completar la teoría del arco iris. El espectro, sus propiedades y sus relaciones quedan expuestas por Newton en todas sus fases y poco se ha añadido a ello desde entonces a ahora.

Poco después descubrió los fenómenos de coloración que

de Newton. En 1669 sucedió a Barrow en su cátedra de Matemáticas, y trasladó su residencia a Cambridge. En 1671 fabricó con sus propias manos el telescopio de reflexión que lleva su nombre, a consecuencia de lo cual y de algunos de sus trabajos matemáticos, que ya se conocían, fué elegido miembro de la Royal Society de Londres, en 1672, a la edad de treinta años. Allí comenzó su célebre discusión con Huyghens y con Hooke sobre la descomposición de la luz por los prismas, discusión que tuvo su parte final con la Memoria presentada por Newton a la Royal Society en 1675. Aquí surge otra anécdota de Newton. La Universidad de Cambridge, para honrar a su más notable profesor, lo eligió miembro del Parlamento en 1688; pero Newton se encontraba allí desorientado: tenía tan escasa afición a las controversias políticas, que se dice pidió la palabra tan sólo una vez en toda su vida parlamentaria, y la pidió para decirle a un ujier que cerrase una ventana.

Una de las obras más célebres de Newton es *Philosophica naturalis principia mathematica*. En ella se expone la ley de la gravitación universal y su desarrollo matemático. El manuscrito de esta obra fué presentado a la Royal Society el 28 de abril de 1686. Inglaterra premió este trabajo con cargos y donativos espléndidos que libraron a Newton de preocupaciones económicas durante el resto de su vida. La Royal Society lo eligió su Presidente, y la Reina Ana le confirió el título de Barón.

Otra obra suya digna de la mayor admiración es su *Optica*, impresa por primera vez en 1704. Contiene la teoría completa de la dispersión y el desarrollo matemático de cuantas leyes se conocían entonces sobre la luz. Su análisis completo exigiría un libro extenso. Basta decir que esta obra es hoy día tan de actualidad como cuando se escribió. Lo más culminante de ella lo exponemos en el texto; además de la de 1704, existen de la *Optica* de Newton, así como de todas sus obras, multitud de ediciones y traducciones en casi todos los idiomas.

se originan en las láminas delgadas, como burbujas de jabón, gotas de aceite sobre el agua, capas de líquido entre vidrio, etcétera. La distribución y orden de los colores que se originan se conocen desde entonces con el nombre de *escalas cromáticas* de Newton, y con el de *anillos de Newton* el fenómeno en sí.

Las causas las explica de un modo magistral en su obra *Óptica*.

Consecuencia lógica de lo anterior es su teoría *sobre los colores naturales de los cuerpos*, que la explica por la combinación de las dos propiedades: dispersión y absorción.

Como Newton no conocía la posibilidad de obtener lentes acromáticas, y como partía de la base de que no se podía obtener refracción sin color, esto es, *sin dispersión*, abandonó la construcción de los telescopios con objetivo lenticular (anteojos astronómicos que se diría hoy) y dedicó toda su atención a los telescopios de espejo, basados en la reflexión, que son acromáticos por sí mismos, puesto que en ellos no interviene la refracción. La perfección óptica con que llegó a construirlos se pone de manifiesto en el telescopio legado por Newton a la Royal Society que se exhibe en la colección de instrumentos científicos de ésta.

No se conserva ningún microscopio de Newton, ni hay noticias de que los construyera; pero sí existen modelos de su época (el de Hooke ya descrito es uno de ellos) que permiten seguir la historia del instrumento.

Uno de los más notables es el de Eustachio Divini, construido en 1668 (1). Su altura total es de 16 1/2 pulgadas inglesas (unos 40 centímetros) y es ajustable a cuatro longitu-

(1) Se conserva en el Museo Copernicano de Roma.

des diferentes por medio de tubos de enchufe. Esta disposición, que había sido suprimida en el microscopio de Hooke y que vemos aparecer de nuevo en éste, tenía por objeto obtener aumentos variables con una sola combinación óptica. En el microscopio que nos ocupa, la serie va desde 41 a 143 diámetros, pero se consigue a expensas de perjudicar en sumo grado la definición de la imagen. El ocular se compone de dos lentes plano-convexas con sus superficies curvas en contacto, obteniéndose con esto un campo más plano que con los oculares simples.

Mientras tanto, las investigaciones de Leeuwenhoeck en el mundo invisible habían formado escuela, y los que estudiaban la Naturaleza empezaban a preocuparse del inmenso campo de seres y de fenómenos que presentían encerraba ese mundo, tan poco conocido entonces, que el microscopio había comenzado a revelar.

Consecuencia inmediata de esto fué que el instrumento en cuestión comenzara, a su vez, a generalizarse en proporciones incomparablemente mayores que hasta entonces y que sus perfeccionamientos se multiplicasen para adaptarse a los fines a que se aspiraba. Puede afirmarse que en los últimos años del siglo xvii comienza la microscopía propiamente dicha, esto es, el estudio del microscopio con aparato especial, separado de los demás instrumentos de óptica y destinado a realizar una finalidad bien determinada.

Pero dichos perfeccionamientos estaban entonces encerrados dentro de límites muy estrechos, cuales eran los que imponían las dos aberraciones de las lentes de entonces, la esférica y la cromática. La primera se podía corregir, sólo en parte, empleando diafragmas, aun a trueque de la gran pérdida de luz que esto supone. La segunda subsistía íntegra, y no sólo

subsistía, sino que quedaban pocas esperanzas de anularla después de las categóricas afirmaciones de Newton.

De aquí que durante el período transcurrido entre el final del siglo xvii y el descubrimiento del acromatismo los perfeccionamientos del microscopio sean casi todos *mecánicos* y muy pocos de ellos *ópticos*, cosa que vamos a ver comprobada en el breve resumen que vamos a hacer de los principales instrumentos construídos durante dicho período (1).

Figuran en primer término, por orden de fechas, los dos microscopios de Cherubin d'Orleans construídos, respectivamente, en 1671 y 1685. Aparece en ellos, ante todo, una combinación óptica, compuesta de cuatro lentes, merced a la cual la imagen del objetivo aparece *recta*, esto es, en la misma posición que el objeto en el espacio, y no invertida, como en todos los microscopios compuestos fabricados hasta entonces. Son, pues, estos dos instrumentos el punto de partida de los microscopios de disección que tanto se hubieron de generalizar después (2).

El microscopio de 1685 tiene por rasgo distintivo el ser el binocular más antiguo que se conoce. La doble visión se obtiene uniendo dos instrumentos iguales, ligeramente inclinados para que sus dos ejes ópticos concurren hacia el objeto, esto es, obedeciendo al mismo principio en que hoy se fundan los

(1) La mayor parte de los microscopios que vamos a citar la hemos examinado personalmente en las colecciones mencionadas al principio de este trabajo. De algunos de ellos figuran grabados en las obras de *microscopía* de Van Hœurck y Dallinger. En nuestro resumen nos ceñiremos a citar los rasgos salientes de cada instrumento, los que lo diferencian de los demás, y prescindiremos de la descripción completa de cada uno, que alargaría considerablemente este Discurso, y que resultaría, además, difícil de entender no teniendo delante un ejemplar o, por lo menos, un grabado del instrumento descrito.

(2) La obra en que Cherubin d'Orleans describe sus microscopios lleva por título *La Vision Parfaite* y fué impresa en 1677.

microscopios binoculares Greenough. El enfocado se hacía moviendo los dos tubos a la vez, y se había previsto la desigual separación de los ojos de los distintos observadores montando los oculares sobre tubos de enchufe que permitían acercarlos o separarlos.

En 1687 aparece el microscopio de Grindelius y la descripción del mismo en su obra sobre micrografía (1). La disposición de órganos y la forma son las mismas que las del primer microscopio de Cherubin d'Orleans, pero hay en el de Grindelius una combinación de lentes, nueva hasta entonces, encaminada, según afirma el autor, a obtener un campo visual muy plano. Consiste en un objetivo formado por dos lentes plano-convexas con sus caras curvas una frente a otra y casi tocándose, combinado con un ocular doble compuesto de dos elementos iguales y cada uno de éstos iguales, a su vez, al del objetivo. Comparando el campo de visión de este microscopio con el del de Divini y Cherubin d'Orleans, no resulta más plano, y, en cambio, sí mucho más oscuro, puesto que intervienen seis lentes en vez de cuatro.

A fines del siglo xvii el microscopio compuesto se perfecciona no poco, merced al óptico italiano llamado Philippus Bonanni (2).

(1) Joannes Franciscus Grindelius von Ach. El título completo de la obra a que nos referimos es: *Micrographia nova, sive nova et curiosa variorum minorum corporum, singularis cujusdam et noviter ab autore inventi Microscopii ope adauctorum descriptio*. La primera edición data de 1687 y está impresa en Nuremberg.

(2) Algunos autores escriben Bonannus en vez de Bonanni. El título completo de la obra en que Bonanni describe su microscopio es: *Micrographia curiosa, sive verum minutissimarum observationes quæ ope microscopii recognitæ et expresæ describuntur*. Está impresa en Roma, en 1692. Otra interesante obra, por cierto bastante rara, de Bonanni es la titulada *Observationes circa viventia, quæ in rebus non viventibus reperiuntur, cum micrographia curiosa*. Impresa en Roma, en 1691. Una y otra, a más de los datos sobre mi-

Dos detalles mecánicos y uno óptico resaltan en este microscopio diferenciándolo de los anteriores a él. Los dos primeros son : la disposición horizontal del aparato que aparece por primera vez, y un mecanismo de enfocar, compuesto de rosca y resorte, que se asemeja un tanto a los de acción directa de los microscopios actuales.

El detalle óptico que también aparece por primera vez en la historia del microscopio es el condensador. En efecto, en el instrumento de Bonanni los objetos se alumbran por transparencia, y para concentrar la luz sobre ellos se emplea una combinación óptica formada por dos lentes biconvexas, de las cuales la más próxima a la luz actúa como colimadora arrojando un haz cilíndrico sobre la segunda lente, que funciona como colectora, dando forma cónica a dicho haz ; esta disposición es la misma que rige en algunos modelos de aparatos modernos destinados a proyección. La luz empleada por Bonanni era una lámpara de aceite con el depósito muy bajo para que la mecha quedase a la altura del eje del microscopio.

El microscopio simple algo se había perfeccionado también. El modelo que mejor representa lo que era este instrumento a fines del siglo XVII es el llamado *microscopio de Hartsoeker* (1), del cual se conservan por lo menos dos ejemplares.

microscopios que exponemos en el texto, contienen observaciones curiosísimas sobre organismos inferiores. Al autor le son familiares los trabajos de Leeuwenhoeck.

(1) Nicolás Hartsoeker, físico y micrógrafo holandés, nacido en Gouda, en 1656 ; muerto en Utrecht, en 1725. Se le atribuye el descubrimiento de la teoría de la generación que dedujo de los trabajos que hizo de úquidos seminales, en los que, a más de los espermatozoides, encontró diversos otros cuerpos. Huyghens, a quien se atribuía dicho descubrimiento, reconoció la prioridad en él de Hartsoeker, publicando una Memoria sobre aquél en el *Journal des Savants* (1678). Su obra más reputada se titula *Essai de Dioptrique* (París, 1694). También es digna de atención la titulada *Principes de Physique* (París, 1696). Fué profesor de Matemáticas y Filosofía en Dusseldorf. Al final de su

Las lentes son esféricas, como las fabricadas por Leeuwenhoeck, y van también montadas en celdas independientes ; pero tanto las lentes como sus monturas son más perfectas y, sobre todo, el cambio se realiza con más facilidad y bastante más precisión que en los modelos anteriores a éste. El objeto que se examina por transparencia va montado entre dos hojas de talco sujetas por una armadura provista de dos charnelas y un pestillo para poder encerrar dicho objeto, que queda, por lo tanto, dentro de una caja transparente. La fecha de construcción de este microscopio es 1694.

Cuatro años después apareció el llamado *microscopio Hahn*, que se diferencia del anterior en dos detalles de cierto interés. Uno es que las celdas de talco son más pequeñas y van distribuidas sobre el contorno de un disco metálico que al girar va presentando ante la lente cada una de aquéllas. El otro detalle consiste en una serie de diafragmas redondos de diferentes aberturas que se intercalan alternativamente entre la lente y disminuyen su diámetro y, como consecuencia, su aberración de esfericidad.

El siglo XVIII es pródigo en modelos de microscopios, en los que se nota cada vez más la tendencia a la adaptación a un fin dado de que hablábamos antes. Pero, además de esto, nos aporta este siglo uno de los descubrimientos de más trascendencia en la historia de la microscopía. Es el acromatismo de las lentes, cuyos primeros ensayos datan de mediados de dicho siglo.

Recordemos que Newton había sentado como principio que

vida se entregó a una exagerada crítica de los trabajos de Leeuwenhoeck, Descartes, Newton y Leibnitz, en la que resaltaba un apasionamiento tal que ha sugerido a alguno de sus comentadores la sospecha de una enfermedad mental incipiente.

no podía haber refracción sin color (1), y este principio, interpretado en su sentido más restrictivo, detuvo algunas tentativas que a fines del siglo xvii y comienzos del xviii se habían emprendido, y que se encaminaban a corregir las lentes de su aberración cromática.

Merece citarse, entre otras iniciativas, la del óptico inglés Mr. Chester More Hall, que comparando la constitución del ojo humano (al que suponía acromático) con la de un anteojo enunció la posibilidad de construir uno de éstos dotado de la misma propiedad. Después de muchos experimentos consiguió encontrar dos clases de vidrio capaces de dar, por su combinación, *refracción sin color*, y con ellos emprendió la construcción de algunos objetivos, de los cuales se conserva uno, con 20 pulgadas de distancia focal y una apertura de algo más de $2 \frac{1}{4}$ pulgadas, el cual es, en efecto, acromático. Pero Mr. Hall mantuvo secreto su descubrimiento; ninguno de sus aparatos se exhibió ni se puso a la venta y no se llegaron a conocer hasta bastantes años después de la muerte de su inventor. De aquí que se ignore la fecha exacta del invento y que éste se haya atribuido y se siga atribuyendo a Dollond, el cual se puede asegurar no conocía lo hecho por Hall.

Dollond (2), en 1517, construyó y dió a conocer su anteojo acromático, que fué perfeccionado después por su hijo Peter

(1) Newton no quiso decir con esto que fuera imposible suprimir la aberración cromática. Trataba de establecer, como estableció, en efecto, que hay relación íntima entre los dos fenómenos, refracción y dispersión, y que era ópticamente imposible separarlos para que el uno se verificase sin el otro. Esto es lo que se desprende de la lectura atenta de este principio de Newton. Pero nada hay en sus obras que cierre el camino a una corrección o anulación de la esfericidad y el cromatismo, si bien Newton consideró preferible acudir a los telescopios de reflexión, en los que *ipso facto* la segunda aberración no podía existir.

(2) John Dollond, óptico inglés, nacido en Spitalfields, el 10 de junio de 1706; muerto en Londres, el 30 de noviembre de 1761. Sus principales tra-

Dollond, haciendo el objetivo con tres elementos: dos convexos de *crown-glass* y uno cóncavo de *fint-glass*, colocado entre los dos primeros.

Otro descubrimiento importante del siglo XVIII es la fotometría, que comprende la medida de la cantidad e intensidad específica de la luz que emite un cuerpo. Bouguer (1) fué el primero que hizo trabajos sobre esta rama de la óptica, publicando los primeros de ellos en 1729 y una exposición completa de los mismos en 1760.

Los trabajos de Bouguer fueron continuados por Lambert (2), quien publicó el resultado de ellos en su obra *Photometria seu de Mensura et Gradibus Luminis, colorum et um-*

bajos se publicaron en *Philosophical Transactions* en forma de cartas. La que atañe al acromatismo tiene por título «Letter concerning an improvement of refracting telescope» y está fechada en 1753.

(1) Pierre Bouguer, matemático y físico francés, nacido en Croisese, el 16 de febrero de 1698; muerto en París, el 15 de agosto de 1758. La mayor parte de sus trabajos se publicaron en las *Memorias de la Academia de Ciencias de París*, a la que pertenecía desde 1731. Tomó parte con Cassini, La Condamine y otros en la expedición al Perú y el Ecuador, para medir el meridiano terrestre. Fué autor de un ingenioso instrumento, llamado «heliómetro», para la medida precisa de los ángulos pequeños. Existen bastantes ediciones de sus obras. Para nuestro objeto, la más interesante es la titulada *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière*, impresa en París, en 1760.

(2) Jean-Henri Lambert, matemático y físico, de origen francés, nacido en Mulhouse, el 26 de agosto de 1728; muerto en Berlín, el 25 de septiembre de 1777. Su padre, que era protestante, tuvo que salir de Francia a la revocación del edicto de Nantes, por lo que la educación de su hijo hubo de hacerse en Basilea, adonde su religión era tolerada. Puede decirse que se educó por sí mismo, leyendo en la biblioteca del Conde de Solís, del que fué secretario. En 1769 fué nombrado profesor en Augsburgo, y en 1764 Federico II le hizo entrar en la Academia de Berlín, donde consolidó su reputación brillante. Uno de los descubrimientos que más contribuyeron a ella fué el de su famoso teorema (teorema de Lambert), que establece la relación entre el tiempo empleado por un astro en recorrer un arco de su órbita, la cuerda de este arco y los dos radios vectores extremos. La demostración de que es incommensurable se debe también a Lambert (Memoria presentada en 1768), así como la serie que lleva su nombre y que fué después objeto de los trabajos de Euler y Lagrange.

brae (Augsburgo, 1760), que es un tratado dividido en siete partes, que versan todas ellas sobre determinaciones fotométricas.

Siguen después en orden cronológico los descubrimientos de sir William Hezschel (1), hechos con los magníficos telescopios de reflexión inventados por él y fabricados bajo su inmediata dirección. Los primeros trabajos de este célebre astrónomo fueron precisamente la fabricación de instrumentos, tomada por él más bien como divertida ocupación manual que como estudio científico. Pronto, sin embargo, comprendió cuál era su verdadera vocación y se dedicó a ella de lleno, distinguiéndose en astronomía. Para ello aspiraba a disponer de instrumentos potentes, y sabido es lo mucho que se distinguió en la construcción de ellos. Dió preferencia a los telescopios de reflexión

(1) Sir Frederick William Hezschel, astrónomo inglés, de origen alemán, nacido en Hanovre, el 15 de noviembre de 1738; muerto en Slough, cerca de Windsor, el 25 de agosto de 1822. Los primeros años de su vida los pasó como soldado en la banda de música del Rey de Hanovre. Su instrumento era el oboe. Emigró a Inglaterra en 1755, estableciéndose en Leeds y pasando después a otras ciudades adonde daba lecciones de música para vivir. En 1765 consiguió la plaza de organista en la *Octagon Chapel* de Bath, adonde hizo por sí mismo su educación científica, dedicando sus pocas horas libres a las obras más en boga entonces sobre física y astronomía. La lectura de *Astronomy*, de Ferguson, orientó su vocación hacia la Astronomía. Quiso adquirir un telescopio; pero encontrándolo demasiado caro para sus medios, se procuró herramientas y emprendió por sí mismo la construcción de uno de aquéllos, consiguiéndolo después de algunos ensayos. Esto ocurría en 1774, teniendo Hezschel treinta y seis años. De esta misma fecha datan sus primeros descubrimientos astronómicos. El primer trabajo de Hezschel es una Memoria titulada *Astronomical Observations on the periodical stars in Collo Ceti*, que presentó en 1780 a la Royal Society de Londres. Siguió su Memoria sobre la *rotación de los planetas* y otras. En 1781 descubrió al planeta Urano, lo que le valió renombre universal, ser nombrado miembro de la Royal Society y ser recompensado con la medalla Copley. Al año siguiente Jorge III lo nombró astrónomo de la Corte, con 200 libras anuales de remuneración. Se estableció en Slough y allí murió, colmado de honores y distinciones.

No se considera a Hezschel como un genio comparable a Galileo, Newton, Kepler o Laplace; pero sí como a un hombre dotado de extraordinario talento de observación y como a un práctico de primer orden.

sobre los de refracción, siguiendo en esto el camino de Newton, pero llegando a dimensión y a proporción incomparablemente superior a los de los instrumentos de éste. Su famoso telescopio, el último que proyectó y cuya construcción dirigió en persona, ha pasado a la historia. Se comenzó a construir en 1785 y se terminó en 1789. El espejo reflector medía 1,47 metros de diámetro, 88 milímetros de espesor, 12 metros aproximadamente de longitud focal, su peso excedía de una tonelada y su forma era la de los de secciones cónicas, con objeto de suprimir la aberración esférica. El difícilísimo pulimento de esta enorme pieza se hizo con una máquina inventada también por Hezschel. El tubo era cilíndrico, de hierro, y lo movía un mecanismo bastante complicado, que arrastraba consigo al observador.

En sus elementos ópticos contiene este telescopio un perfeccionamiento notable sobre los de Newton. El espejo pequeño intermedio entre el reflector grande y el ocular, que sirve para recoger los rayos de aquél y dirigirlos sobre éste, se ha suprimido por Hezschel y conseguido su efecto, desviando el reflector de su posición normal y dándole una ligeramente inclinada, lo que permite al observador, colocado en el borde superior del tubo, ver directamente de frente la imagen del objeto mirando por el ocular. De aquí el nombre de *Frontview telescope* con que lo bautizó Hezschel. Esta ingeniosa disposición evita la pérdida de una parte no pequeña de los rayos luminosos.

Además de este telescopio, cuya construcción fué subvencionada por Jorge III, construyó Hezschel otros varios (1),

(1) En la excelente biografía de Hezschel, publicada por M. Léon Sagnat (París, 1895), asegura éste que el número de telescopios construídos por Hezschel excede de 300.

que vendió a los principales observatorios y establecimientos científicos del mundo. Estos trabajos exigieron un taller de óptica que estaba considerado entonces como uno de los primeros del mundo. Sir David Hezschel no se dedicó a la construcción de aparatos para el microscopio, pero su entusiasmo por la óptica y el material acumulado fueron heredados por su hijo John, el cual, a más de aparatos astronómicos, se dedicó a perfeccionar las lentes del microscopio, inventando, entre otras cosas, los dobletes que llevan su nombre y en los que nos volveremos a ocupar al tratar de la microscopía del siglo XIX.

Si se comparan los medios para los estudios astronómicos que existían en esta época con los que poseían los micrógrafos para la observación del mundo invisible, no puede por menos de llamar la atención la inferioridad de estos últimos, inferioridad que subsiste hasta que el acromatismo de las lentes llega a ser un hecho. Los trabajos de Hezschel, Lambert y otros que acabamos de reseñar, más bien retrasan que aceleran el perfeccionamiento en cuestión, cuya necesidad, merced a los telescopios de reflexión, no se dejaba sentir demasiado en el campo de la astronomía.

Pero en la primera mitad del siglo XVIII hay algunos descubrimientos ópticos aplicados al microscopio que merecen mencionarse.

Uno de ellos es el debido al Dr. Lieberkühn (1), que en 1738 inventó el reflector que lleva su nombre. Es éste uno de

(1) Johann-Nathaniel Lieberkühn, anatomista alemán, nacido en Berlín, el 5 de septiembre de 1711; muerto en Berlín, el 7 de octubre de 1756. Doctor en Leyde, en 1793; elegido miembro de la Royal Society de Londres en 1745, y pocos años después nombrado miembro del Consejo Superior de Medicina de Berlín. Está considerado como uno de los fundadores de la anatomía micrográfica, y es autor de los primeros métodos de colaboración por inyección de vasos y tejidos. Sus principales obras versan sobre Medicina y Anatomía. La

los pocos aparatos de microscopía que subsisten aún con la misma forma que tenían cuando se inventaron.

Es un espejo cóncavo de plata, de superficie esférica. La luz que incide sobre él es reflejada sobre el objeto que debe estar situado en el foco del espejo, para lo cual se monta sobre una aguja horizontal móvil de arriba abajo y de izquierda a derecha. El espejo lleva una abertura central redonda, y la lente o el objetivo, si es un microscopio compuesto el que se emplea, se montaban sobre un tubo que entraba a enchufe en otro y que moviéndose dentro de él enfocaba al objeto. Salvo ligeros detalles de construcción, este reflector es el mismo que con el nombre de su autor venden en la actualidad los constructores ingleses para el alumbrado de cuerpos opacos.

El espejo, que unido al microscopio sirve para dirigir la luz a lo largo del eje óptico, se encuentra por primera vez en un microscopio compuesto construido en 1738 por la casa Culpeper & Scarlet, de Londres.

Copiaron este modelo los fabricantes de juguetes de Nuremberg, construyéndolo con madera y cartón y economizando el metal todo lo posible. Esto permitió venderlos a precios muy económicos, y de aquí que el microscopio en cuestión se generalizase mucho en Alemania, Francia e Italia. Se le llamaba microscopio de Nuremberg, y continuó en uso hasta fines del siglo XVIII.

El microscopio simple cambió la forma de tabla usada por Leeuwenhoeck por la de columna curva, en cuyo extremo se monta la lente. Se conservan ejemplares de esta forma que datan de 1742.

titulada *Descripción de un microscopio*, presentada a la Academia de Ciencias de Berlín en 1745, contiene la descripción del reflector y de la manera de manejarlo, a más de otros interesantes datos.

De esta misma época es el microscopio compuesto fabricado por Martín, del cual se conserva un excelente ejemplar en la colección de la Royal Microscopical Society de Londres. En la forma de este instrumento, en la disposición de sus órganos y en el tamaño mismo se ve ya algo que se asemeja a los actuales microscopios *grandes modelos ingleses*.

El microscopio es de inclinación variable desde la posición vertical a la horizontal. En la primera de ella mide 0,60 metros de altura desde la base del pie, que es triangular, hasta el extremo del ocular. El tubo se compone de dos piezas que enchufan una en otra y sirven para variar la longitud total.

La platina, o, mejor dicho, las platinas, son las piezas más ingeniosas de este microscopio. Una de ellas lleva en su cara superior una regla fija y otra movable, paralela a ella, para sujetar el porta-objeto que se coloca entre las dos. Tiene también, como accesorio, dos pinzas grandes, que sirven para sujetar los objetos voluminosos. En su cara inferior se puede adaptar una lente condensadora. Esta platina es cambiable por otra, que es, por cierto, una pieza admirable por su perfecta ejecución y por la extraordinaria precisión de sus ajustes. El cambio se hace por medio de un fuerte pivote, al que se une un brazo que soporta la platina. Haciendo girar media vuelta este pivote la segunda viene a ocupar el sitio de la primera, indicando un tope cuando está exactamente en dicha posición.

La segunda platina es una verdadera *platina-micrómetro*, comparable a las actuales. Posee dos movimientos perpendiculares uno a otro, dirigidos por dos tornillos de rosca muy fina, cuyas cabezas están graduadas. Como ya hemos dicho, su precisión es extraordinaria. El movimiento de ambas platinas a lo largo del eje óptico se hace por medio de una cremallera y un

piñón. Este movimiento da un medio para enfocar el objeto con bastante exactitud.

Los demás instrumentos de aquella época son notablemente inferiores al que acabamos de describir, y otro tanto sucede con los primeros modelos construídos por el célebre fabricante de Londres George Adams. Pero, en cambio, los microscopios posteriores de éste, y especialmente el llamado *The Variable Microscope*, que data de 1771, contiene detalles originales notables que merecen citarse (1).

Lo primero que llama la atención en él es una rueda dentada unida a una barra rectangular que hace las veces de limbo; esta rueda, movida por un piñón, permite inclinar la posición del microscopio y dejarlo fijo en la que se quiera.

La platina es más sencilla que la del microscopio de Martín. Lleva en su centro una abertura redonda y bajo ella una placa con resortes para sujetar y comprimir contra la platina los objetos de diversas formas y tamaños que se pueden colocar en-

(1) El *microscopio variable* está representado y minuciosamente descrito en la obra de George Adams titulada *Micrographia Illustrata, or the knowledge of the Microscope explained with a translation of Mr. Lobrot's Observation on the Animalcula found in many infusions; and an account of the fresh-water Polype, translated from the treatise of Mr. Trembley*. London, 1771, cuarta edición, en 8.º, con 325 páginas y 71 láminas. No conocemos la fecha de la primera edición, pero de la lectura de la cuarta deducimos que debe ser poco anterior a ésta.

No hemos podido obtener datos biográficos de George Adams.

Fué un célebre constructor de aparatos de óptica, especialmente de microscopios, que vivía en Fleet Street, número 60, Londres, y cuyos principales trabajos son de mediados del siglo XVIII. Su hijo, que también se llamaba Jorge, le sucedió en su negocio y publicó dos obras interesantes. Una es la descripción de los microscopios de fines del siglo XVIII, cuya segunda edición, que es la que más atañe a la microscopía, lleva por título *Essays on the Microscope, with considerable additions and improvements*, y está impresa en Londres, en 1798.

Dejó escrita también una obra sobre visión y anatomía del ojo humano (Londres, 1792).

tre ambas piezas. Bajo la segunda de ellas hay una combinación de dos lentes que sirve de condensador y que es bastante más perfecta que cuantas se habían construído hasta entonces.

Los movimientos para enfocar son dos : el rápido, por cremallera y piñón, y el lento, por tornillo de rosca fina. En él existe un órgano que consiste en un tornillo con cabeza de marfil que comprime al tubo contra el limbo y lo inmoviliza en su posición focal. Este detalle, que es inútil por cierto, se ha suprimido en los microscopios posteriores al de Adams y no ha vuelto a aparecer después.

En Francia la construcción de microscopios estaba también bastante adelantada. En 1778 el constructor Dellabarre (1) presentó a la Academia de Ciencias de París una Memoria, en la que se describía un microscopio de su invención.

Consta de un trípode terminado en un platillo redondo, del que parte una columna cuadrada que sostiene los diversos componentes. Estos son : un espejo doble montado del modo habitual ; una lente condensadora ; la platina, formada por un arco dentro del cual hay un disco de vidrio que sirve de soporte a los objetos, y el tubo del microscopio, que es movable de adelante atrás. Todos los elementos, menos el tubo, se pueden mover a lo largo de la columna y fijarse a cualquier altura por medio de tornillos de presión. La columna es fija y, por tanto, el microscopio no es inclinable. El enfocado se hace moviendo la platina de arriba abajo por medio de una cremallera y un piñón.

Como se ve, este microscopio se asemeja bastante al de Martín en la disposición de sus órganos. Es algo más sencillo, sin embargo, que el de éste.

(1) Jean François Dellabarre, nacido en Abb-ville (Francia), en 1726 ; muerto en 1805.

A partir de los microscopios de Martín y Adams hasta la fecha en que el descubrimiento del acromatismo ejerció su poderosa influencia en la construcción del instrumento, o sea en un período de unos veinticinco o treinta años, el único microscopio que contiene algunos perfeccionamientos y detalles dignos de mención es el del constructor Jones (1), titulado *Most Approved Compound Microscope and Apparatus*, que data de 1798. Aunque en su forma se asemeja al de Adams, ofrece diferencias sensibles en sus detalles.

La base tiene forma de trípode, y de ella parte una columna redonda terminada en su extremo superior por una charnela formada por tres discos como la de los compases. Esta charnela es indudablemente el mejor procedimiento de todos los inventados hasta entonces para inclinar el microscopio y es la misma que hoy día se emplea en los instrumentos de columna simple para inclinarlos y para que queden fijos en cualquier posición, cosa que se consigue sin necesidad de llave de aprieto si la charnela tiene bastante superficie y si el microscopio está bien equilibrado. Esto mismo se ha intentado en el instrumento de Jones. La charnela es de gran superficie, y, además, no se une al extremo de la barra que soporta los aparatos como en el microscopio de Adams, ni está en la base de ella como en el de Martín, sino a un nivel un poco inferior al de la platina, en el cual se equilibran aproximadamente los pesos de los órganos que hay encima y debajo del eje de giro. Esta disposición subsiste a partir de entonces.

El tubo es de disposición muy semejante a la de Adams, el sistema óptico es el mismo y se mueve de adelante atrás por

(1) William and Samuel Jones, propietarios de un establecimiento de aparatos de óptica en Londres, en el último tercio del siglo XVIII y primeros años del XIX.

medio de una cremallera y un piñón de que va provisto el brazo.

La platina tiene una escuadra doble para fijar las preparaciones y un disco cuyo pivote entra en un agujero de la platina y al girar va presentando bajo el objetivo las tres aberturas redondas que lleva.

Los accesorios son los mismos o muy semejantes a los del microscopio de Adams. Merece atención un disco giratorio excéntrico destinado al cambio de objetivos y que se asemeja bastante al revólver actual.

Antes de terminar con la microscopía del siglo XVIII debemos describir dos aparatos que marcan progresos de cierto interés.

Es uno de ellos el *microscopio de reflexión*, análogo a los telescopios de igual clase e inspirado en el mismo principio óptico. Este intento tenía razón de ser entonces porque el acromatismo no se había aplicado aún al microscopio, y obteniendo imágenes catadióptricas resultaban éstas libres de contornos irisados. Después de aplicada la corrección cromática a los objetivos los microscopios de reflexión no tenían ya objeto, y tal vez por esto el aparato que vamos a describir es el único de este tipo, o al menos es el único de que tenemos noticia.

Está inspirado en las ideas sugeridas por Newton y el constructor de él fué Smith. El objeto, que para este microscopio debe ser transparente, se alumbra con una lente condensadora. Los rayos se reflejaban primero sobre un espejo cóncavo grande; después, sobre uno convexo con una abertura central redonda de diámetro adecuado para el libre paso del haz incidente, y, por último, se concentraban sobre el ocular y pasaban de él al ojo. El enfocado se hacía moviendo el ocular por medio de un tornillo micrométrico. El aumento que se obtenía estaba

en relación con la curvatura de los espejos y con la convergencia de la lente ocular ; parece ser que en el aparato construido por Smith no pasaba de 100 diámetros.

El segundo aparato de los mencionados antes es un microscopio de disección que representa el primer paso dado en las especializaciones del microscopio ; es el precursor de los de disección modernos, pareciéndose mucho en su forma y distribución de órganos a algunos de los de hoy. Su constructor fué Cuff, y la fecha de los primeros modelos es la de 1755.

La pieza sobre la cual se hacían las disecciones era un disco plano de vidrio o uno cóncavo, cambiable con el primero, que se colocaban en el aro de la platina. Ésta iba fija al extremo superior de una columna rectangular que soportaba todo el aparato. El alumbrado se hacía por medio de un espejo montado sobre una horquilla, y ésta, a su vez, sobre un eje que entraba en un agujero de la columna y permitía que el espejo se acercase o se separase de ésta para ir alumbrando sucesivamente todas las regiones del objeto. La horquilla podía girar alrededor de una junta.

El equipo óptico se componía de varias lentes simples de distintos aumentos, unas con Lieberkühn y otras sin él, que se atornillaban al extremo de un brazo, el cual podía avanzar o retroceder respecto a la columna moviéndose dentro de una pieza que termina por su parte superior en una varilla redonda. Esta varilla podía, a su vez, girar, subir y bajar. Entraba dentro e iba guiada por un cilindro hueco. De este modo se enfocaba el objeto y se exploraba toda su superficie.

El siglo XIX se caracterizará en la historia futura por los grandes progresos, y entre ellos por los de las ciencias naturales auxiliadas por el microscopio. Éste, se puede decir, se ha formado en dicho siglo, porque en realidad los instrumentos que

hasta ahora hemos descrito se pueden considerar más bien como intentos, como ensayos en persecución de un ideal, que como instrumentos definitivos. El microscopio no lo fué hasta que se consiguieron objetivos provistos de las dos correcciones fundamentales, la esférica y la cromática, y de entonces, y sólo de entonces, data el instrumento realmente científico, que es el microscopio actual. Nos atreveríamos a decir más : sin las correcciones dichas, ni aun siquiera se concibe la posibilidad de descubrimientos de tan considerable trascendencia como los hechos con el microscopio en el siglo XIX. Recordemos, entre otros, los que por sí solos han llegado a formar dos ciencias, la histología y la microbiología, y ello bastará para probar lo que afirmamos.

Pero los estudios del mundo invisible a simple vista habían adquirido importancia excepcional a partir de Leeuwenhoek, que se puede decir fué el creador de ellos. Desde entonces el microscopio empieza a especializarse y a dejar de ser una curiosidad científica. Tanto el simple como el compuesto van siendo objeto de atención por parte de investigadores y constructores, y ya a fines del siglo XVIII hay algunos de éstos, especialmente en Inglaterra, que si bien no se dedican exclusivamente a fabricar microscopios dan, sin embargo, preferencia a éste sobre todos los demás aparatos científicos y a él dedican la mayor parte de su atención y de sus medios. Tal hacen, entre otros, Martín, Adams y Jones. Pronto llegará el día de los especialistas, de los que no construyen mas que microscopios y aparatos auxiliares de éstos. El primer tercio del siglo XIX marca esta fase, que empieza en Inglaterra, sigue inmediatamente después en Francia con el justamente celebrado Chevalier y llega bastante tiempo después a Alemania.

Vamos a comenzar la historia de la microscopía del siglo XIX

reseñando el estado de la óptica general a principios de dicho siglo, porque mucho de lo hecho en el microscopio ha sido consecuencia inmediata de lo que se descubría en óptica, estando, como ya estaba, el microscopio fuera del campo del empirismo y entrando en el de la óptica matemática.

Recordemos que la teoría de las ondulaciones planteada por Huyghens y seguida por Hooke y Euler, que explica la transmisión de la luz y sus principales fenómenos, había encontrado un poderoso detractor en Newton, el cual preconizó la hipótesis de la emisión, imponiéndola con su excepcional autoridad. Esta era tanta que desde la época de Newton hasta el fin del siglo XVIII se puede decir no hubo un solo intento serio para volver a la primitiva hipótesis de las ondulaciones. Esta gloria estaba reservada al Dr. Thomas Young (1), que en un folleto impreso en 1800 y titulado *Outlines of Experiments and Observations on Sound and Light* mostró que la luz tiene íntima analogía con el sonido y que está originada por la ondulación de un medio etéreo altamente elástico que ocupa el espacio todo. Poco después, en 1801, publicó una ampliación del primer libro, titulada *On the Theory of Light and Colours*, aplicando la teoría de las ondulaciones a la explicación de los principales fenómenos ópticos.

(1) Físico inglés, nacido en Milveston, el 13 de junio de 1773; muerto en Londres, el 10 de mayo de 1829. Estudió diversas ciencias naturales y se estableció en Londres, como médico, en 1800, siendo nombrado al año siguiente para el hospital de Saint George, cuyo puesto desempeñó hasta su muerte. En 1802 fué nombrado miembro de la Royal Society en premio de sus trabajos sobre óptica.

Un dato curioso es que este médico, tan notable como óptico, fué, además, uno de los arqueólogos de más reputación de su época, uno de los que primero interpretaron los jeroglíficos egipcios, y el autor de las celebradas obras *Remark on Egyptian Papyri on the inscription of Rosetta*, Londres, 1915, y *Egyptian Dictionary*, Londres, 1829.

Existen ediciones completas de sus obras. La primera de ellas fué impresa en Londres, en 1855, y consta de tres tomos.

Las conclusiones a que llega Young merecen consignarse porque son el fundamento de la teoría actual del éter luminoso. Son las siguientes : 1.^a Que el universo todo, incluso los espacios intermoleculares, está ocupado por un medio elástico y ligero en alto grado, que es el *éter luminoso*. 2.^a Que en este éter se originan vibraciones y, como consecuencia de ellas, ondulaciones cuando un cuerpo se hace luminoso por cualquier causa. 3.^a Que la sensación que se nota en la retina correspondiente a los diversos colores se debe a las diferencias en la *frecuencia* o número de vibraciones de las moléculas de éter en cada segundo de tiempo. 4.^a Que todos los cuerpos materiales se pueden considerar respecto a los fenómenos de la luz como compuestos de partículas a distancia tal unas de otras que el medio etéreo se puede mover entre ellas con entera libertad, quedando retenido en los espacios intermoleculares, o bien en un estado de mayor densidad e igual elasticidad, o bien constituyendo con el medio un agregado que se puede considerar como más denso, pero no más elástico que el éter exterior.

Pero el que se debe considerar como el trabajo fundamental de Young es el titulado *Experiments and Calculations relating to Physical Optic*, en el que da una demostración experimental de la ley de las interferencias, descubierta por Grimaldi a mediados del siglo xvii. Esta demostración no dejaba lugar a duda ninguna sobre la certeza del fenómeno y fué una de las que prepararon el camino para las generalizaciones y aplicaciones que se hicieron después de la teoría ondulatoria. La primera de estas aplicaciones se debe también a Young. Fué la de determinar la causa que origina los colores de los cuerpos cristalizados bajo la acción de la luz polarizada, causa que no es otra que las interferencias, como está hoy universalmente admitida.

Al final del siglo XVIII y en los comienzos del XIX, tres investigadores, el Dr. M. Ritter, de Jena; Karl Wilhelm Scheele (1), en Suecia, y el Dr. Wollaston (2), en Inglaterra, descubrieron casi al mismo tiempo, y sin que ninguno de ellos conociera los trabajos de los demás, algunas de las propiedades de las regiones invisibles del espectro que hay antes del rojo y después del violeta. En la zona infrarroja demostró un termómetro muy sensible la existencia de rayos caloríficos, y en la ultravioleta vieron que una disolución de *nitrate de plata* se ennegrecía antes que en el violeta y en éste antes que en el azul y el verde, probándose así la mayor energía química de la zona azul-violeta visible y la existencia, en mayor proporción aún, de esta energía en la zona ultravioleta. El doctor Wollaston hizo varios trabajos en microscopía, en los que nos ocuparemos más adelante.

Las investigaciones de Wollaston, y más aún los descubrimientos del Dr. Young, atrajeron la atención de los físicos franceses sobre el fenómeno de la doble refracción y sus causas. Laplace había atribuido la desviación del rayo extraordinario

(1) Uno de los químicos más eminentes que han existido. Nació en Stralsund, en 1742; murió en Koping, en 1766. Está considerado como uno de los fundadores de la química moderna. Sus trabajos de óptica se limitan a lo que consignamos en el texto.

(2) William-Hyde Wollaston, físico y químico inglés, nacido en East-Dereham, en 1766; muerto en Londres, en 1828. Empezó ejerciendo la carrera de Medicina en Bury-Saint-Edmund, pero renunció a ella al poco tiempo para dedicarse al estudio de la Física y de la Química. Empezó a adquirir reputación por haber descubierto un procedimiento nuevo para el tratamiento metalúrgico de los minerales de platino, que le condujo a descubrir el paladio y el rodio (1803-1804). Poco después publicó una tabla de equivalentes, anterior a la de Berzelius. Trabajando en física descubrió y construyó la pila eléctrica que lleva su nombre.

Sus escritos sólo comprenden Memorias y notas con el resultado de sus trabajos. Se han publicado en *Philosophical Transactions*, en *Annals of Philosophy* y en *Quarterly Journal of Science*, todos de Londres.

a la acción de fuerzas atractivas y repulsivas, análogamente a como Newton y los sucesores de su escuela explicaban la reflexión y la refracción ordinaria. Pero el problema merecía ser tratado por separado, y al efecto la Academia de Ciencias de París propuso en 1808 como tema para uno de sus premios el estudio e investigación de las causas de la doble refracción. Entre las varias Memorias que se presentaron descolló por todos conceptos la de Malus (1), que contenía uno de los descubrimientos más importantes hechos en óptica durante el siglo XIX. Merece la pena exponer la génesis de este descubrimiento.

Anunciado el premio de la Academia de Ciencias, se dedicó Malus con toda atención al estudio del problema. Vivía en la Rue des Cupers, y desde las ventanas de su habitación se veían las del Palacio de Luxemburgo, que reflejaban los rayos del Sol cuando éste estaba próximo a su ocaso. Se le ocurrió a Malus analizar por medio de un prisma doble dichos rayos reflejados, y su sorpresa fué extraordinaria al ver que haciendo girar a los prismas una de las dos imágenes de cada ventana desaparecía, se borraba, cuatro veces en cada rotación completa. Continuando este experimento llegó al descubri-

(1) Etienne-Louis Malus, físico y oficial de Ingenieros franceses, nacido en París, el 23 de julio de 1775; muerto en París, el 20 de febrero de 1812. Hizo la campaña de Egipto con Bonaparte, y a su regreso fué nombrado profesor de la Escuela Politécnica de París. Todo su tiempo libre lo había dedicado a investigaciones de óptica, física y matemáticas, y bastó su primera obra para acreditar su competencia en ellas. Esta obra se titula *Traité d'Optique Analytique*, y su primera edición, hecha en París, data de 1811. Poco después apareció, en forma de Memoria dirigida al Instituto de Francia, el trabajo titulado *Sur une Propriété de la lumière reflectée par les corps diaphanes*, y después otras varias sobre los mismos temas y sobre las propiedades ópticas de los cristales. Malus ha sido uno de los fundadores de la cristalografía óptica, y sus descubrimientos en esta ciencia se han hecho justamente célebres.

miento a que antes nos referíamos, cuyo enunciado se puede hacer así :

Cuando un haz de luz se refleja sobre una superficie de vidrio bajo un ángulo de $54^{\circ} 35'$ o sobre agua bajo un ángulo de $52^{\circ} 45'$, la luz reflejada posee todos los caracteres de uno de los rayos que origina la doble refracción. Esto es, el rayo reflejado está polarizado por reflexión.

Las consecuencias de este descubrimiento han tenido trascendencia grande no sólo en el campo de la óptica cristalográfica, al que tan directamente afectan, sino también en otros ramos de la óptica, por ejemplo, en las medidas de las longitudes de onda, la de las velocidades de transmisión y la comprobación de los resultados obtenidos por diferentes métodos.

Los trabajos de Malus fueron continuados por Arago (1), que ya había colaborado con Malus durante los últimos años de la vida de éste. Tuvieron por finalidad principal la de determinar las leyes de la polarización operando en diversos cristales naturales (yeso, mica, espato calizo, cuarzo, etc.) y en disoluciones artificiales. A Arago se debe el descubrimiento de la polarización circular o rotatoria en el cuarzo, la explicación de la polarización cromática en las láminas cristalinas y el establecimiento de la relación que media entre los colores de

(1) Dominique-François Arago, sabio francés, nacido en Estagel, el 26 de febrero de 1786; muerto el 2 de octubre de 1853. Ingeniero de la Escuela Politécnica, con estudios brillantes, fué nombrado a su salida de ella auxiliar del Observatorio Astronómico, en cuyo cargo y en trabajos geodésicos emprendidos en colaboración con Biot, Chaix y Rodríguez, comenzó a adquirir su reputación. El principal trabajo de esta clase se hizo por cierto en España, y tuvo por objeto la medida de un arco de meridiano. Se interrumpió en 1808, a causa de la Guerra de la Independencia, y Arago estuvo preso algún tiempo en el castillo de Belver (Palma), del que fué libertado poco después. La relación de sus trabajos científicos ocuparía un libro entero; tales son su variedad e importancia. La edición de sus obras completas consta de 16 tomos, de los cuales dos están dedicados a óptica.

polarización y el espesor de la lámina con que se opera. En unión de Fresnel completó las leyes de las interferencias ya descubiertas por Young. Por último, asociado con Biot, publicó una serie notable de experimentos sobre los índices de refracción de algunos gases, entre otros, el oxígeno y el hidrógeno. Un polarímetro inventado por él le permitió estudiar con más precisión que sus antecesores los fenómenos de polarización en las nubes y determinar su relación con el ángulo del Sol sobre el horizonte.

Contemporáneo de Arago y colaborador de él en varias ocasiones fué Biot (1), cuyo nombre vemos citado a cada paso en los tratados modernos de cristalografía óptica. Operando sobre aragonito, topacio y mica descubrió la ley que lleva su nombre, que es : *el tono de polarización varía en función del cuadrado del seno del ángulo que la dirección del rayo incidente forma con el eje óptico del cristal*. Esta ley y otras están recopiladas en una Memoria dirigida al Instituto de Francia en

(1) Jean-Baptiste Biot, matemático, físico y astrónomo francés, nacido en París, el 21 de abril de 1774; muerto en París, el 3 de febrero de 1862. Siendo alumno de la Escuela Politécnica tomó parte en el motín de las secciones del 13 vendimiario de Saint Roch; fué preso, y debió su salvación a Monge, que reconoció en él uno de sus mejores alumnos. A su salida de la Escuela Politécnica fué nombrado profesor de la Escuela Central de Bauvais, y entre otros trabajos hizo el de la corrección de las pruebas de la *Mecánica Celeste*, de Laplace, lo que le valió la amistad y protección de éste. A los veintiséis años fué nombrado profesor de Física matemática en el Colegio de Francia, y a los veintinueve, miembro del Instituto. A partir de entonces continuó su carrera científica sin interrupción, alcanzando cuantos honores pueda alcanzar en Francia un sabio.

Sus primeras obras son : *Analyse de la Mécanica Celeste de Laplace* y *Traité analytique des courbes et des surfaces de second degré*, publicadas en 1803 y 1804. Desde entonces sus trabajos se multiplican, versando principalmente sobre física matemática, óptica y astronomía. Sus principales publicaciones sobre óptica son : *Mémoire sur de nouveaux rapports entre la réflexion et la polarisation de la lumière par les corps cristallisés*, 1814, seguida de otras treinta Memorias y opúsculos sobre óptica cristalográfica.

1812, que lleva por título *Polarisation movable*. Por último, a Biot se deben los primeros trabajos sobre polarización de las disoluciones orgánicas, entre ellas las de azúcar, a las que dividió en dos grupos, las que hacen girar al plano de polarización a la derecha y las que lo hacen a la izquierda, y ha sido en realidad el inventor del *sacarímetro*, perfeccionado después y tan útil en la industria azucarera.

Los estudios referentes a la polarización hechos por los ópticos franceses fueron continuados en Inglaterra por sir David Brewster (1), que completó la teoría de aquel fenómeno óptico, elevándola casi hasta su nivel actual. La polarización elíptica, la generalización del fenómeno a los cristales biáxicos, la influencia de la temperatura y la presión en la polarización y las leyes de la absorción de la luz son otros tantos descubrimientos de Brewster, en cuya explicación detallada no podemos entrar, porque ella nos llevaría demasiado fuera de la historia de la microscopía.

Brewster hizo avanzar mucho los trabajos de espectrografía. Tomó éstos en el punto adonde los había dejado Newton, y, valiéndose de prismas más dispersos que los de éste, consiguió demostrar que los colores elementales de Newton distaban bastante de serlo y eran descomponibles en otros, cuyo

(1) David Brewster, físico escocés, nacido en Jedburgh, el 11 de diciembre de 1781; muerto en Allery, el 10 de febrero de 1868. Hombre de fortuna grande, se educó en las Universidades de Edimburgo y Aberdeen, y pasó su vida en sus posesiones de Allery, dedicado a sus trabajos de óptica y física. Ellos le valieron el título de profesor de la Universidad de Edimburgo, y en 1839 el de presidente de la Academia de Ciencias de dicha ciudad. Como inventos populares cuenta, entre otros, el del caleidoscopio y el perfeccionamiento del estereoscopio. Su obra principal es el *Treatise on optics*, cuya primera edición, hecha en Londres, data de 1832. Ha dejado escrito también un *Treatise on Microscope*, que es la obra especial sobre microscopía más antigua de que tenemos noticia.

brillo y anchura dependían en parte del foco de luz empleado. Los resultados de estos experimentos están consignados en una Memoria dirigida a la Royal Society of Edimburg en 1831 titulada *On a new analysis of solar light*.

Sus trabajos en microscopía están ligados íntimamente con la corrección de las aberraciones de las lentes y con el acromatismo en general, y esto nos lleva a tratar de éste con la detención que tal punto requiere.

Ya hemos visto que a partir de la concepción teórica de Newton sobre el acromatismo de los telescopios, o, mejor dicho, anteojos astronómicos, aquél había llegado a ser un hecho merced a los trabajos de Chester More Hall, Dollond y Hezschel. Pero con los objetivos de microscopio no sucedía lo mismo. Los modelos hasta fines del siglo XVIII, que hemos descrito, tenían sus objetivos sin corregir, y esto era tan grave que muchos operadores preferían los microscopios simples, porque, a pesar de la incomodidad de su manejo y de su menor aumento, las imágenes no eran tan imperfectas como en los compuestos, debido a que no se sumaban como en éstos las aberraciones propias del objetivo y el ocular. Tanto es así que paralelamente a los intentos para introducir el acromatismo en los elementos ópticos del microscopio compuesto se hicieron otros encaminados a obtener lentes simples con el mayor aumento posible y con el mínimo de aberraciones. Vamos a revisar simultáneamente los dos grupos de intentos que trazan otros tantos caminos en el perfeccionamiento del microscopio.

Las lentes simples de Leeuwenhoeck representan el máximo de perfección que se puede obtener con un material como el vidrio de entonces, cuyo índice de refracción ($n = 1,50$) era relativamente bajo. Para conseguir con él aumentos que permitiesen estudios serios era preciso fabricar lentes esféricas del menor

diámetro posible (un milímetro o menos), con la consiguiente pequeña distancia focal, y en las que como ineludible consecuencia las aberraciones alcanzaban su máximo efecto.

Así, pues, la primera idea que debía surgir y que surgió en la mente de los que en esto se preocupaban fué la de encontrar materiales transparentes cuyo índice fuese mayor que el del vidrio y construir lentes con ellos. Como es natural, estos materiales se buscaron donde en aquel entonces se podían encontrar : en los minerales cristalizados ; pero para poder fabricar con ellos lentes es preciso que no posean doble refracción, y como los únicos cristales que no la poseen son los del sistema cúbico, a ellos se ciñó el campo de las investigaciones.

Parece ser que el primero que trabajó en este sentido fué sir David Brewster, de cuyos descubrimientos ya hemos hablado. Ahora bien : en la época de este óptico, o sea a fines del siglo XVIII, se conocía ya lo bastante a fondo el fenómeno de la refracción para saber que éste llevaba aparejado consigo el de la dispersión, y que, por lo mismo, no bastaba buscar un mineral cuyo índice de refracción fuese elevado, sino que era preciso además que este mineral tuviese poco poder dispersivo, mientras menos mejor, para que la aberración cromática se redujera a un mínimo. Esto limitaba sobremanera el campo de las investigaciones : quedaba reducido a encontrar minerales cristalizados o amorfos que reuniesen las condiciones siguientes :

Ser transparentes. Ser amorfos o cristalizar en el sistema cúbico (1). Poseer un índice de refracción elevado. Que su poder dispersivo fuese pequeño.

(1) Aun cuando algunos de los minerales empleados para lentes no cristalicen en el sistema regular, se pueden evitar las imágenes dobles producidas por la doble refracción tallando la lente de tal modo que su eje óptico coincida con el cristalino. De este modo la luz incide en la única dirección mono-

Así quedó planteado el problema por sir David Brewster en su obra *Treatise on Philosophical Instruments* (1813). Minerales que reuniesen estas condiciones eran raros. En realidad sólo se podía echar mano con probabilidades de éxito del *diamante*, que es el mejor de todos por su alto índice ($n = 2,47$) y escaso poder dispersivo ; el *zafiro*, el *granate* y el *rubí espinela*. Brewster trató de llevar sus ideas a la práctica tallando una lente esférica de diamante ; pero los fabricantes a quienes se dirigió en Londres y Amsterdam fracasaron en su intento y consideraron la cosa imposible. Se hubo de contentar, por tanto, con obtener una lente de rubí y otra de granate talladas por un hábil especialista de Edimburgo llamado Peter Hill, y habiendo sido su resultado tan bueno como se debía esperar de los razonamientos teóricos que habían precedido a su construcción, quedó abierto el camino para la fabricación de lentes con dichos minerales, y en poco tiempo fueron estas lentes de uso habitual en Inglaterra.

Uno de los que más se señalaron en esta nueva rama de la óptica micrográfica fué Mr. Andez Pritchard (1), que consiguió al fin obtener una lente de diamante, a pesar de la opinión contraria de sus predecesores. Esta lente era plano-convexa y tenía la curvatura correspondiente a una lente de *crown-glass*, cuya distancia fuese de un vigésimo de pulgada (1,25 milímetros). Esta lente se usó por primera vez en diciembre de 1824. El doctor Goring, en unión de Mr. Pritchard, hizo un estudio concienzudo de ella, empleándola unas veces como lente simple y otras como objetivo de microscopio compuesto. En ambos casos dió

refringente del mineral. Así se hace hoy día con los condensadores y colectores de cristal de roca que se emplean para la microscopía con luz ultravioleta.

(1) Naturalista inglés, autor de una obra célebre titulada *A History of Infusoria*, cuya cuarta edición, la más moderna, data de 1861.

imágenes indiscutiblemente superiores a las de una lente de *crown-glass* del mismo aumento (1). Se pudo medir prácticamente la diferencia de radios de curvatura de una lente de diamante y una de vidrio del mismo aumento y resultó que esta relación es de 8 : 3. Es decir, que una lente de diamante cuyo radio de curvatura sea de 8 milímetros, por ejemplo, aumenta lo mismo que una de *crown-glass* ($n = 1,5$) cuyo radio sea de 3 milímetros. Se comprende bien, por tanto, cuánta menos aberración esférica tendrá la primera que la segunda.

La carestía del diamante y las enormes dificultades de su tallado obligaron a pensar en sustituirlo por minerales más baratos y menos duros, y se acudió al rubí y al zafiro, tomando la precaución, al tallar las lentes, de que su eje óptico coincidiese con el cristalino, para evitar los efectos de la doble refracción. La relación de radios de curvatura entre las lentes de rubí y zafiro y las de vidrio resultó ser de 5 : 3. Pero las lentes que más se generalizaron fueron las de granate. El mineral empleado procedía de Groenlandia, en cuyo país son frecuentes los cristales grandes absolutamente transparentes y casi incoloros. Las anomalías ópticas son raras en ellos, y la relación de radios, en comparación con el *crown-glass*, resulta, aproximadamente, de 4,5 : 3.

Otra idea ingeniosa de aquel tiempo fué la que tuvo sir David Brewster de hacer *lentes líquidas*. Consisten estas lentes en depositar una gota de un líquido sobre la cara inferior de una lámina de vidrio mantenida en posición horizontal, para que la

(1) Es un hecho curioso que algunas de las otras lentes de diamante que Mr. Pritchard hizo después dieran *imágenes dobles*, demostrando con ello que el diamante suele presentar anomalías cristalinas que lo separan ópticamente del sistema cúbico. Este fenómeno ha sido comprobado en época reciente por los petrógrafos norteamericanos.

gota tome, por la acción de la gravedad, forma esférica o hiperboloídica, según su tamaño y según sea la naturaleza del líquido. Empezó Brewster con el agua, pero tropezó con el inconveniente de que la excesiva movilidad del líquido deformaba demasiado la gota. Su índice era, además, demasiado pequeño para que hubiese ventajas en substituir estas lentes a las de vidrio.

Acudió después a líquidos viscosos de índice elevado, que por su evaporación se volvían más viscosos y adhesivos aún. Los obtuvo mezclando bálsamo de Canadá con aceite de castor, de casia y otros que elevaban el índice de aquél. Depositaba una gota de ellos sobre una lámina delgada de vidrio, ponía ésta en posición horizontal con la gota hacia abajo, y ésta tomaba entonces una forma ligeramente hiperboloídica que aminoraba un tanto la aberración esférica. Consiguió así lentes que se conservaron durante más de un año de uso casi diario.

Las ventajas de estas lentes son manifiestas. Su forma es rigurosamente regular y esférica o ligeramente hiperboloídica, como acabamos de ver. El pulimento de la superficie es completo y superior desde luego al de la lente sólida mejor tallada. La homogeneidad del medio es absoluta. Son muy fáciles de obtener. Su inconveniente principal estriba en que hay que emplearlas en posición vertical, porque al inclinarlas se deforman.

Posteriormente Brewster y otros operadores modificaron la forma de estas lentes empleando superficies de vidrio convexas o cóncavas en vez de planas y depositando sobre ellas la gota del líquido viscoso. Aumentando mucho esta viscosidad y empleando substancias líquidas en caliente y sólidas o pastosas en frío, consiguieron obtener lentes biconvexas en vez de planoconvexas.

Cuando el acromatismo se empezó a aplicar a los objetivos de microscopio intentaron algunos hacer fuesen líquidos uno o

varios de los elementos de la combinación, pero se desistió de ello porque el empleo de vidrios de distinto índice daba resultados superiores y estaba exento de las restricciones que origina el empleo de lentes líquidas (1).

La segunda etapa en la corrección de aberraciones es la construcción de lentes dobles (dobletes) o triples encaminadas a disminuir la curvatura del elemento único, obteniendo el mismo aumento con la combinación de dos o tres de ellas. De paso se conseguía un campo más plano. Pero el vidrio con el que se fabricaban dichos elementos era el mismo y casi siempre el *crown-glass*. La combinación de este material con el *flint-glass* para corregir la aberración cromática al mismo tiempo que la esférica es distinta de la en que nos estamos ocupando y caracteriza la tercera y última fase del procedimiento general.

Ya hemos visto que la combinación de dos o más elementos agrupados de manera que equivalgan a una lente única fué el procedimiento corrientemente empleado por los ópticos y constructores del siglo XVIII, tanto en los objetivos como en los oculares del microscopio. Hezschel perfeccionó considerablemente los dobles aplicando a su construcción el cálculo y determinando de antemano la forma, radio de curvatura y abertura respectiva de cada elemento para conseguir un fin dado, partiendo siem-

(1) A título de curiosidad mencionamos el experimento hecho por Goring de emplear a guisa de lentes de aumento los ojos de algunos animales, los de peces principalmente. Aislado con cuidado el cristalino de estos ojos se consigue, en efecto, una lente que por su forma pseudoparaboloídica está casi del todo exenta de aberración esférica. El aumento de estas lentes no es grande, pero las imágenes son excepcionalmente perfectas. El experimento es fácil de hacer. En el extremo de un alambre de latón de cosa de 2 milímetros de grueso se hace un aro cuyo diámetro inferior sea próximamente el mismo que el del cristalino del ojo que se va a utilizar. Se unta este aro con bálsamo de Canadá y sobre él se coloca el cristalino, cuidando tan sólo de que el eje de visión sea normal al plano de aro. La lente así obtenida se conserva sin alteración durante dos o tres focos.

pre del índice de refracción del vidrio que se empleaba. Uno de sus dobletes se componía de una lente biconvexa con caras de desigual curvatura, tangente a otra cóncavo-convexa. Después fabricó otro, compuesto de una biconvexa adosada a una plano-convexa por la cara plana de esta última. Tanto con el uno como con el otro, cuando se usaban como lentes simples se conseguía un campo tolerablemente plano en un círculo limitado por los rayos que formaban 40° con el eje óptico. Por último, construyó un tercer doblete formado por dos lentes plano-convexas, tangentes por su cara curva, cuya fabricación era más fácil que la de los anteriores y el resultado igual o algo superior.

Wollaston calculó sus dobletes sobre bases distintas de las de sus antecesores. El primero que construyó constaba de dos lentes plano-convexas, cuyas distancias focales estaban en la relación 3 : 1 y separadas una de otra un espacio que variaba entre $1/4/10$ y $1/5/10$ de la distancia focal de la menor. Este doblete, empleado como objetivo de microscopio, daba imágenes indiscutiblemente superiores a las que hasta entonces se venían obteniendo, y empleándolo como lente simple para lo cual se reducía un tanto la distancia entre los dos elementos, se consiguieron aumentos de 50 a 60 diámetros con campos planos hasta 45° de ángulo, esto es, algo mayores que los obtenidos con los dobletes de Hezschel. Además, proporcionaba una distancia focal grande, y, como consecuencia, una frontal o de trabajo también grande, que deja sitio sobrado bajo ellos para manejar las agujas, pinzas y escalpelos en las manipulaciones de disección, para las cuales están indicados dichos dobletes (1).

(1) Esto se demuestra con el siguiente dato: El microscopio de disección, modelo «Profesor Huxley», que vende la casa James Swift & Co, de Londres, cuenta con su equipo de óptica con tres dobletes de este tipo, calculados como acabamos de explicar. Poseemos hace años uno de estos microscopios, y podemos asegurar que el trabajo se hace perfectamente con los tales dobletes.

Mr. Pritchard completó los dobletes de Wollaston añadiéndoles una tercera lente detrás de las dos primeras y de menor convergencia que ellas. Con esto resultaba la combinación más perfecta; su campo plano era mayor y su distancia frontal mayor también; pero, en cambio, resultaba mucho más difícil de construir y de centrar, bastando una pequeña diferencia de centrado para que las imágenes resultasen deformadas. En las últimas combinaciones de Pritchard prescindió éste de la uniformidad del material e hizo la lente central de granate, la posterior de cuarzo y la frontal de *crown-glass* (1). Pero ya en esta época se empezaban a conocer los objetivos realmente acromáticos, y los ensayos como el de Pritchard dejaron de tener objeto.

La fase definitiva, la invención del acromatismo, data en realidad de los comienzos del siglo XVIII, y desde mediados de él se empleaban en los anteojos astronómicos objetivos acromáticos. Ya hemos explicado cuál fué el proceso de esta invención a partir de Newton, que la concibió por primera vez. Queda por decir cómo pasó esta invención a los objetivos de microscopio, paso que, como afirman cuantos se han ocupado en la historia de la microscopía, es el más grande tal vez de dicha historia, el que transforma un instrumento de limitadas aplicaciones, cual era el microscopio del siglo XVIII, en el perfectísimo y poderoso medio de investigación que es el microscopio de hoy día.

Durante mucho tiempo se ha creído que la gloria de haber inventado los objetivos acromáticos de microscopio pertenecía a Amici (2); pero investigaciones posteriores han demostrado

(1) Un amigo nuestro que ha comparado esta combinación con las demás de Pritchard, en las que las tres lentes eran de vidrio, nos asegura que su resultado óptico era incomparablemente superior al de éstas.

(2) Juan Bautista Amici, físico italiano, nacido en Módena, en 1784; muerto en Florencia, en 1863. Se ocupó de preferencia en perfeccionar los ins-

que éste, sin duda, perfeccionó mucho los objetivos acromáticos, pero no fué el inventor de ellos.

Parece ser que la primera idea de un objetivo de microscopio acromático construído con dos clases distintas de vidrio se debe a Martín, de cuyos trabajos ya nos hemos ocupado, y data de 1759. Este óptico llegó a construir un objetivo de esta clase; pero al compararlo con otros, especialmente con el microscopio de reflexión, hecho precisamente para conseguir imágenes acromáticas, vió que los resultados prácticos de su objetivo eran inferiores a los de aquéllos, y generalizando su deducción desistió de seguir el camino emprendido. No tenemos noticia de qué se conserve ningún ejemplar ni dibujo del objetivo de Martín.

En 1763 Euler planteó en forma matemática la teoría del acromatismo del microscopio, y después, en 1771, al publicar su *Dióptrica* desarrolló más el tema, demostrando su posibilidad práctica. Uno de sus discípulos, Nicolás Fuss, publicó en San Petersburgo, en 1774, un trabajo cuyo título, literalmente traducido, es : *Instrucciones detalladas para llevar las lentes de diferentes clases a un grado mayor de perfección con la descripción de un microscopio que se puede considerar como el más perfecto de su clase, tomado de la teoría dióptrica de Leonardo Euler y hecho comprensible a los operadores por Nicolás Fuss*. Este trabajo fué traducido al alemán por Klügel en 1778; pero ni éste ni Fuss hicieron ningún intento para llevar a la práctica lo concebido por Euler.

En 1791 un constructor holandés llamado Francisco Beeldsmyder, tomando por base los trabajos anteriores, fabricó un ob-

trumentos de óptica: anteojos, telescopios y microscopios. Fué director del Observatorio de Florencia durante bastantes años y profesor en el Liceo de Parmo. Sus trabajos, casi todos en forma de comunicaciones y Memorias, se publicaron en las *Memorie della Società Italiana*, Florencia, tomos XVIII y XIX.

jetivo acromático que fué fabricado para su examen en el Museo de la Universidad de Utrech por Harting. A éste se debe una descripción somera del tal objetivo. Se componía de dos lentes biconvexas de *crown-glass* y de una bicóncava de *flint-glass* colocada entre aquéllas, esto es, que su disposición era semejante a la de otros objetivos posteriores que dieron en la práctica resultados excelentes, cosa que no ocurrió, por cierto, con el de Beeldsmyder, que comparado con objetivos sin corregir mostró ser manifiestamente inferior a éstos, debido seguramente a defectos de tallado y de centrado, pues de otro modo no se conciben tales malos resultados en un elemento óptico cuyo cálculo previo estaba bien hecho por Euler.

No hay noticia de ningún objetivo acromático hasta 1808, en que Bernardino Marzoli, de Brescia (Italia), fabricó uno de ellos, que se describió entonces y se presentó después, en 1811, en Milán (1). La historia de este objetivo es la siguiente :

Los ópticos franceses, y entre otros el célebre constructor Chevalier, reclamaban la primacía de los objetivos acromáticos de microscopio para Selligie ; pero en un libro publicado en 1828 en Padua por Giovanni Santini, titulado *Teoria degli Stromenti Ottici*, en el que también hay referencias sobre el objetivo de Selligie, se afirma que antes que éste, en 1908, un italiano llamado Bernardino Marzoli (2), aficionado a los instrumentos ópticos, construyó un objetivo acromático por el cual fué recompensado oficialmente. A poner esto en claro tendieron las investigaciones de Mr. Jhon Mayall, secretario de la Sociedad Real de Microscopía de Londres.

(1) Estos datos y los que siguen los ha aportado el microscopista inglés Mr. John Mayall, en un notable trabajo de investigación hecho por él en Italia y publicado en el *I. R. M. S.*, 1890, pág. 420.

(2) Era en aquel tiempo conservador del laboratorio de Brescia.

Empezó por comprobar la exactitud de la cita de Santini, y guiándose por los datos de éste empezó a hacer investigaciones en Brescia, poniéndose en relación para ello con los hermanos Trainini, sobrinos-nietos de Marzoli. Resultó que, en efecto, éste había construído varios objetivos acromáticos en 1808 y que en ese mismo año había presentado una Memoria descriptiva de ellos a la Academia di Scienze de Brescia, la cual Memoria se publicó en los *Commentari* de dicha Academia. Acompañaba a esta Memoria un dibujo del objetivo.

Poco después presentó Marzoli ejemplares de sus objetivos en Milán para que los examinase y dictaminase sobre ellos el Instituto Reale delle Scienze de dicha capital. El informe fué tal que Marzoli fué recompensado por el Gobierno con una medalla de plata y con un diploma, en el que se enaltecía la importancia del descubrimiento. La fecha de este diploma es la de 20 de agosto de 1811 y está firmado por el ministro del Interior.

Los hermanos Trainini conservaban cuidadosamente un ejemplar de los objetivos de Marzoli y lo ofrecieron a la Sociedad Real de Microscopía de Londres, que lo aceptó y lo conserva en su Museo. Este objetivo corresponde con el dibujo dado de él por Marzoli, lo cual es una prueba más de su autenticidad. Es una combinación triple cementada, con lente de *flint-glass* en medio, la superior de *crown-glass* biconvexa y la inferior plano-convexa, también de *crown-glass*. La cara plana de la combinación hace frente al objetivo, lo mismo que en los objetivos actuales. El cemento se supone es de mastique de goma. El ajuste y centrado de esta pieza óptica son sencillamente admirables, si se tiene en cuenta la época de construcción.

Los datos que anteceden prueban hasta la evidencia que el objetivo de Marzoli es anterior al de Selligue, construído por primera vez en 1823, y prueban también que el objetivo en

cuestión fué el primer acromático prácticamente útil que se empleó en microscopio.

M. Chevalier (1), en su obra *Des microscopes et de leur usage* menciona algunas tentativas hechas en 1800 y 1810 por M. Charles, miembro del Instituto de Francia, para obtener pequeñas lentes acromáticas; pero resultaron tan imperfectos que no tuvieron aplicación práctica. Otro tanto ocurrió con los dobletes acromáticos de Fraunhofer (1811), después de los cuales no se conoce ningún otro intento hasta el del objetivo de Selligie, calculado por éste partiendo de los datos de Euler y construído por el mismo Chevalier.

Éste comprendió que para sacar todo el partido posible de los nuevos objetivos era preciso modificar la forma del microscopio y adaptarle determinados órganos más perfectos que los empleados en los microscopios anteriores. Al efecto construyó un microscopio que, en unión de un equipo de objetivos acromáticos de Selligie, presentó en 1824 a la Academie Royale des Sciences, en la que fué informado por el célebre físico Fresnel, miembro de ella.

Los objetivos acromáticos en cuestión eran de dos clases. Los destinados a trabajos de poco aumento se componían de dos

(1) Charles-Louis Chevalier, célebre constructor de aparatos de óptica francés y uno de los hombres a quien más debe la microscopía moderna. Nació en París, en 1804; murió en dicha villa, en 1859. Su padre y su abuelo fueron también constructores de aparatos de óptica y poseían una tienda de ellos en el Quai de l'Horloge, que después trasladó su heredero al Palais Royal.

C. L. Chevalier fué el primero que construyó microscopios adaptados a los objetivos acromáticos, que se empezaban a usar entonces. Inventó la cámara obscura de prismas, los objetivos dobles de los anteojos astronómicos y otros varios aparatos de óptica. Su obra más interesante sobre microscopía es la titulada *Des microscopes et de leur usage* (París, 1839), que en bastantes temas es todavía de actualidad. En la segunda mitad de su vida se dedicó a perfeccionar los aparatos fotográficos, y fué uno de los primeros que aplicaron la fotografía al microscopio.

dobletes, cada uno de los cuales constaba de una lente biconvexa de *crownglass*, con caras de desigual curvatura, recubierta por una plano-cóncava de *flint-glass* con la cara plana dirigida hacia el ocular. En los objetivos para aumentos grandes el número de dobles se elevaba a cuatro, estando cada uno de ellos separado de los demás por cierto intervalo determinado por el cálculo y yendo montados todos ellos sobre una armadura metálica que aseguraba el centrado y hacía invariable la distancia entre elemento y elemento. Encima del objetivo y atornillada al extremo inferior de uno de los tubos alargadores había una lente bicóncava de *crownglass*, destinada a ampliar la imagen objetiva. Por último, el ocular era del tipo Huyghens y se componía de una lente de campo, biconvexa, de poca convergencia y de un ocular de mayor aumento que la primera. Un diafragma de poca apertura fijo en el interior del tubo, entre el objetivo y la lente de campo, contribuía a corregir la aberración esférica.

Tal era el sistema óptico de Selligie. El ocular y la lente bicóncava, común a todos aquéllos, no sugiere observación alguna, pero el objetivo sí, desde dos puntos de vista distintos. Uno es que en todos los dobles la cara convexa está dirigida hacia el objeto, lo cual cuadruplica la aberración esférica individual. Este manifiesto error es tanto más de notar cuanto que en el objetivo de Marzoli la orientación de las lentes es la contraria, esto es, la cara plana del objetivo es la que está dirigida hacia el objeto, como debe estar y como está en todos los objetivos modernos. El segundo error es el de acromatizar individualmente cada elemento en vez de obtener el acromatismo por medio de las lentes que componen el objetivo, según después se ha hecho.

Los aumentos que se obtenían con el microscopio de Cheva-

lier variaban desde 40 a 1.200 diámetros, si bien en el informe de Fresnel sobre él se advertía que con aumentos grandes, a partir de 800 diámetros, poco más o menos, las imágenes eran defectuosas.

Al año siguiente (1825) M. Chevalier construyó otro microscopio, en el que se habían corregido los principales defectos del anterior. Las lentes eran de menor distancia focal y su posición estaba invertida respecto a la del objetivo de Selligie, esto es, en cada doblete la cara plana se dirigía hacia el objetivo. Además, calculó los diversos dobletes de manera que se pudieran usar aislados individualmente o combinados unos con otros, atornillándolos o desatornillándolos en la misma armadura. Esto reducía considerablemente el número de piezas del equipo óptico.

Al mismo tiempo que Chevalier y Selligie en Francia, se ocupaban en Inglaterra el Dr. Goring y el constructor Tully en resolver el problema del acromatismo, debiendo advertir que, según afirma el profesor Lister, ni uno ni otro conocían entonces los trabajos hechos en Francia por Chevalier.

El objetivo acromático construido por Tully con arreglo a las indicaciones del Dr. Goring es el de un anteojo astronómico en miniatura. La lente central bicóncava de *flint* no está cementada a las dos biconvexas de *crown*.

Más adelante, y conociendo ya probablemente lo hecho en otros países para conseguir el acromatismo, modificó Tully su objetivo cambiando la curvatura de la combinación triple y colocando sobre ella un doblete de *crown* y *flint* fijo a la misma montura y en posición invariable. Resultó así un objetivo, compuesto de cinco elementos, indiscutiblemente superior al primero y comparable en sus resultados a los de Chevalier. No se sabe la fecha exacta de este objetivo, aun cuando se supone que es la de 1825 a 1827.

Mientras tanto, el profesor Amici se ocupaba en Italia del perfeccionamiento de los objetivos acromáticos, y lo hacía partiendo de los principios ópticos de Selligie, esto es, superponiendo varios dobletes individualmente acromáticos. En un viaje que hizo a Londres el profesor Amici en 1827 llevó consigo un microscopio horizontal provisto de objetivos compuestos de tres dobletes cada uno. El examen comparativo de estos objetivos mostró que si bien su corrección cromática no era superior a la de los objetivos ingleses, su ángulo de abertura sí lo era y daban como consecuencia imágenes más luminosas que las de aquéllos.

De todo lo dicho hasta aquí sobre el acromatismo de los objetivos se deduce que se intentaba conseguirlo por medio de tanteos, los cuales, si bien partían de determinados principios ópticos ya conocidos, no habían perdido todavía el carácter empírico. El cambio de procedimiento, el paso de los tanteos al estudio científico del problema y ejecución práctica de los resultados que daba este estudio se debe al óptico inglés Mr. Jackson Lister.

Basándose en las leyes generales de formación de imágenes, y especialmente en las que determinan la trayectoria de un haz luminoso en un objetivo astronómico, planteó Lister el problema introduciendo en sus fórmulas las variaciones que dicha trayectoria debía experimentar en el caso especial de la visión microscópica.

Sería una digresión muy larga exponer aquí los razonamientos de Lister que comprenden el estudio completo del problema del acromatismo (1). Nos ceñiremos por esto a exponer las prin-

(1) Este estudio está admirablemente desarrollado en la Memoria presentada por Lister en 1829 en la Royal Society de Londres y publicada en las *Transactions* de dicha Sociedad del referido año. El lector encontrará un breve

cipales conclusiones a que llega Lister y que se relacionan con el asunto que nos ocupa. Una de ellas, tal vez la principal, es la conocida con el nombre de principio de los dos focos aplanáticos, cuyo enunciado es el siguiente :

En un objetivo acromático (1) las superficies interiores de cuyas lentes estén en contacto hay siempre sobre su eje óptico dos puntos o focos, situados ambos al mismo lado del objetivo, para los cuales se verifica : 1.º Los rayos que de ellos parten, con tal que su abertura (ángulo que forman con el eje óptico) no sea muy grande, resultan aplanáticos, esto es, corregidos de su aberración esférica. 2.º Los rayos que parten de puntos situados entre estos dos focos están super-corregidos (over-corrected) en su aberración esférica. 3.º Los rayos que parten de cualquier punto situado fuera del espacio comprendido entre los dos focos están infra-corregidos (under-corrected) de su aberración esférica (2).

extracto de ella en la obra de Dullinger *The Microscope and its Revelations*, Londres, 1901, pág. 355.

(1) Se debe tener presente que este enunciado, y en general, en la época de Lister, el objetivo *acromático* aplicado a un objetivo, no significaba exactamente la mismo que hoy significa. No existían entonces variedades de vidrios que permitiesen corregir por completo y simultáneamente las dos aberraciones : la cromática y la esférica. Esto no fué posible hasta no disponer de los *vidrios de Jena*, en los que hay proporcionalidad entre el índice de refracción y el poder dispersivo. Por esto, *objetivo acromático* significaba entonces una combinación óptica en la que se había corregido la aberración cromática, prescindiendo de la esférica. Además, en el enunciado de la ley la palabra *objetivo* se refiere a un doblete o, a lo sumo, a una combinación de tres lentes cementadas, y no a un conjunto de dos o tres dobletes, de los cuales uno corregía las aberraciones esféricas de los otros. Luego veremos que Lister y sus continuadores fabricaron combinaciones de esta clase, o sea *objetivos*, con el significado que hoy se da a esta palabra, en los cuales ambas aberraciones resultaban todo lo bien corregidas que era posible entonces con los vidrios de que se disponía.

(2) Se dice que un objetivo está *super-corregido* de su aberración esférica cuando los rayos que emergen por o cerca de su borde forman su foco en un punto más alejado del objetivo que los que emergen de la zona central

El segundo principio de Lister, complementario del anterior y que se conoce en microscopía con el título de *sentido del coma* (1), se enuncia así :

Cuando el haz de luz parte del foco aplanático más alejado de la lente la distancia de los rayos marginales se dirige hacia adentro.

Cuando se observa un objeto situado en el foco aplanático más alejado del objetivo la distancia que los rayos marginales producen en la imagen está orientada hacia el centro del campo, y cuando el objeto se sitúa en el foco aplanático más próximo la aberración se orienta hacia afuera de dicho campo.

De estos principios y de determinadas consecuencias que de ellos se derivan dedujo Lister que la lente de *flint-glass* del elemento frontal del objetivo debía ser plano-cóncava y que ambas lentes habían de estar íntimamente cementadas una a otra con un medio cuyo índice de refracción fuese igual o casi igual al del vidrio, para que no se perdiese luz por reflexión.

La primera condición eliminaba los errores del centrado de las dos curvas cuando la lente de *flint* era biconvexa, y hay que tener presente que para esta lente correctora una diferencia, por pequeña que sea, en la coincidencia sobre un mismo eje de las dos superficies esféricas que la limitan produce en la imagen un efecto de distorsión considerable. La segunda *redujo a la mitad* la pérdida de luz originada por reflexiones interiores. Así se

de aquél. Se dice que el objetivo está *infra-correcto* cuando sucede lo contrario, cuando el foco de los rayos centrales está más lejos del objetivo que el foco de los rayos marginales.

Las palabras subrayadas son la traducción menos imperfecta que hemos encontrado de los términos *over-corrected* y *under-corrected*, que emplean los microscopistas ingleses.

(1) Coma es otra aberración que experimentan los rayos no paralelos al eje que atraviesan una lente. Se traduce en una distorsión o deformación de conjunto en la imagen.

demonstró comparando los objetivos de Lister con los no cementados o cementados con productos poco apropiados, contruídos en aquella época y compuestos del mismo número de elementos que los de Lister.

Calculó después la relación que debía haber entre el elemento frontal del objetivo y el que le seguía o los que le seguían, para que resultase corregida la aberración esférica que poseía el primero. Este cálculo dió por resultado la posibilidad de resolver el problema con varias combinaciones. Unas constaban de un doblete frontal seguido de otros dos ; en otras el elemento frontal era triple, pero conservando siempre la forma plano-cóncava para la lente de *flint* que se interponía entre las dos de *crown* ; en otras, por último, el elemento frontal era una lente sola, como en los objetivos actuales, y sobre ella se colocaban dos dobles, o uno solo seguido de un elemento triple con la lente central de *flint*, destinado a la corrección cromática. Dicho se está que estos elementos componentes del objetivo, que casi siempre eran tres, se montaban sobre la misma armadura metálica y se situaban, unos de otros, a distancias rigurosamente determinadas de antemano.

Otra de las cosas que puso Lister de manifiesto fué que los errores de curvatura procedentes del tallado y pulimento ulterior de las lentes, las de orientación de éstas sobre un mismo eje y los dependientes de las distancias entre cada elemento, tenían importancia considerable en los resultados ; mucha más de la que entonces se daba a estos factores. Consecuencia de esto fué que no habiendo entonces en Inglaterra talleres de óptica capaces de ejecutar prácticamente lo que los cálculos de Lister exigían, tuvo éste mismo que montar un taller, seleccionando con sumo cuidado a sus operarios y aun trabajando él mismo en ocasiones para obtener lo que se proponía.

Lo que consiguió, en efecto. Los objetivos de Lister que se conservan demuestran, por su forma, construcción y perfección de ajuste, el cambio radical que hubo en la construcción de objetivos. A Lister se debe este cambio, y las exigencias suyas obligaron a los constructores de aparatos de óptica a cambiar sus métodos y a no contentarse con lo que hasta entonces habían considerado como el máximo de perfección. La supremacía de los objetivos y microscopios ingleses sobre todos los de los demás países data de entonces y se ha conservado hasta época reciente, hasta que el profesor Abbe inventó los objetivos apocromáticos y perfeccionó los talleres de Zeis en Jena de modo que pudieron producir los admirables instrumentos que el manejo de tales objetivos exige. Hay que reconocer, sin embargo, que la perfección de los aparatos alemanes, con ser grande, ha igualado, pero no ha superado todavía a la de los ingleses.

Pero, por lo mismo que los nuevos objetivos eran más precisos que los anteriores, exigíanse para su manejo monturas también más precisas que las que hasta entonces se venían usando, y en esto debe la microscopía moderna no poco a Lister. Una vez construídos sus objetivos, proyectó una montura de microscopio apropiada para sacar de aquéllos todo el partido posible. La construcción de esta montura fué encomendada a Tully, con dibujos detallados hechos por Lister, el cual inspeccionó personalmente dicha construcción.

El instrumento que resultó tenía puntos comunes con los de Adams y Jones, especialmente con el de este último, en el cual es verosímil estuviese inspirado, por ser el microscopio de Jones el más empleado entonces en Inglaterra; pero el de Lister contiene detalles originales que le asemejan a los grandes modelos ingleses actuales. El limbo es una pieza inclinada que

sorporta el tubo, la platina y la subplatina y que gira por medio de una charnela unida por un eje a la parte superior del pie triangular. Dos barras articuladas que parten del extremo superior del tubo y se apoyan en las dos ramas posteriores del pie contribuyen a la rigidez del conjunto y a la inmovilidad del tubo en cualquiera de sus posiciones. El espejo es doble y va montado sobre un brazo que parte del extremo inferior del limbo, como en los microscopios de hoy día. El tubo se compone de dos cilindros que enchufan uno en otro, pudiéndose así acortar o alargar. Su forma y disposición resultan así iguales a los tubos alargadores de ahora. La platina y la subplatina son independientes una de otra. La primera tiene dos movimientos rectangulares por cremalleras y piñones, y la segunda se mueve por el mismo procedimiento a lo largo del eje óptico para el enfocado de los varios condensadores cambiables de que va provisto.

En una palabra, comparando este microscopio de Lister con el llamado Ross Hentmayer, que todavía se usa en Inglaterra y que hasta hace poco se ha considerado como uno de los mejor entendidos, resultan ambos con los mismos órganos, y éstos dispuestos del mismo modo. La única diferencia estriba en el tamaño y proporción relativa de dichos órganos, que se han ido perfeccionando sucesivamente, según aconsejaba la práctica diaria del instrumento.

La inmediata consecuencia de los trabajos de Lister fué que, habiendo éste sintetizado en fórmulas los principios de construcción de los objetivos acromáticos, esta construcción se podía emprender con éxito por los fabricantes de instrumentos de óptica. Así fué, en efecto, y de esta época data la fundación de las grandes casas inglesas constructoras de microscopios y aparatos accesorios. Todas ellas se establecieron en Londres.

Esta población y París se puede decir que han sido, hasta época reciente, los principales y casi los únicos centros de producción del mundo para microscopios y aparatos auxiliares de ellos.

La primera que se fundó fué la de Andrew Ross (1), que en 1831 inauguró la venta de sus microscopios con objetivos acromáticos. Siguió después Hugh Powell (2), en 1834, y después James Smith (3), en 1839.

El Dr. Dallinger (4) ha hecho un estudio de los objetivos construídos por Andrew Ross desde la fundación de su establecimiento hasta 1842, y formado una lista que reproducimos, porque es interesante ver el ángulo de abertura a que en poco tiempo se había llegado, y también porque siendo en aquel entonces esta casa y las otras dos citadas las que mejor fabricaban y en las que aprendían las demás del continente, los datos en cuestión representan, en realidad, cuáles eran los mejores objetivos que entonces se construían. Esta lista es :

1832.—Objetivo de una pulgada de foco y 14° de abertura (5), compuesto de dos dobletes.

(1) Hoy día Ross & C.^o, (11, Nez Bond Street).

(2) Hoy día Powell & Lealand (170, Euston Road).

(3) La casa fundada por James Smith existe todavía con la razón social R. & J. Beck Ltd. (68, Cornhill. London), y es una de las más reputadas de Inglaterra. Algunos años después de su fundación tomó el nombre de Smith Beck & Beck, que ha conservado hasta época reciente.

(4) *The Microscope and its Revelations*, Londres, 1901, pág. 357.

(5) Se entiende por *apertura* o *ángulo de abertura* de un objetivo el ángulo que forman entre sí dos rayos límites que este objetivo recoge cuando está enfocado sobre el objeto. Esta abertura no se debe confundir con la *apertura numérica*, o simplemente *apertura*, que caracteriza y define al principal factor óptico de los objetivos modernos. La *apertura numérica* fué introducida en óptica por el profesor Carlos Ernesto Abbe, de la Universidad de Jena. No es un ángulo, sino una relación que se expresa con la fórmula $a = n \cdot \text{sen } u$. Sen u , es la que a es la *apertura numérica*, n el índice de refracción del medio que se interpone entre el objeto y el objetivo (aire en los obje-

1833.—Objetivo de 1" de foco y 18° de abertura, compuesto de un solo elemento triple.

1834.—Objetivo de un 1/4 de pulgada de foco y 55° de abertura, compuesto de tres dobles.

1837. Objetivo de una pulgada de foco y 22° de abertura, compuesto de una frontal triple y dos dobles.

1841.—Objetivo de 1/8" de foco y 63° de abertura, compuesto de una frontal triple y dos dobles.

1842.—Objetivo de 1/2 pulgada de foco y 44° de abertura, compuesto de una frontal triple y dos dobles.

1842.—Objetivo de 1/4" de foco y 63° de abertura, compuesto como el anterior.

1842.—Objetivo de 1/8" de foco y 74° de abertura, compuesto como el anterior.

De todos estos objetivos existen ejemplares, y en la magnífica colección de la Sociedad Real de Microscopía de Londres hay una serie completa de ellos, que hemos examinado repetidas veces para hacer comparaciones con objetivos actuales (1). Como ajuste, centrado y construcción, no vacilamos en afirmar que estos objetivos de 1840 no tienen nada que en-

tivos secos, agua en los de inmersión en este líquido, etc.) y *u* el semiángulo de abertura. Como se ve, se trata de dos cosas muy distintas: *abertura* y *apertura*, aun cuando estén ligadas una a otra por una ecuación.

Para conocer a fondo lo que representa la *apertura* en microscopía debe consultar el lector la admirable exposición que ha hecho de la teoría de Abbe nuestro compatriota D. Joaquín María de Castellarnau, inspector general del Cuerpo de Ingenieros de Montes y *micrógrafo* de reputación mundial, en dos de sus obras, que llevan por título *Visión microscópica* (*Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, tomo XIV, 1885) y *Teoría general de la formación de la imagen en el microscopio*, publicada por la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones científicas en 1911.

(1) El autor posee una colección de objetivos de Ross, Swift y Smith, Beck & Beck, que heredó de su padre, D. Domingo de Orueta y Aguirre. Uno de ellos, de una pulgada de foco, construido por Andrew Ross en 1852, es tan perfecto, y sobre todo de campo tan plano, que lo usamos diariamente para

vidiar a los mejores de ahora. Son deficientes, sin embargo, en corrección cromática. Poseen menos *apertura numérica* que los actuales, y, como consecuencia, son menos luminosos, porque no admiten conos de luz tan grandes como éstos. La causa estriba en que los constructores de aquella época sólo disponían de tres o cuatro variedades de *crown-glass* y otras tantas de *flint-glass*, y, lo que dificulta más todavía, que en estos vidrios no había relación entre el poder dispersivo y el índice de refracción, y por lo mismo las correcciones cromáticas y esféricas tenían reducidos límites.

Pero todavía mediaba una circunstancia que dificultaba la construcción de los objetivos; era la diferente calidad del vidrio en cada colada. Los que fundían vidrios destinados a aparatos científicos no disponían de los perfectísimos hornos de hoy, ni sabían analizar con exactitud las primeras materias que empleaban, ni conocían aún lo suficiente las condiciones científicas de la fabricación, temperatura inicial de enfriamiento, tiempo que debe durar éste en función del volumen de la colada, procedimientos ópticos para examinar los productos finales y dictaminar sobre su calidad, etc., para poder garantizar el producto obtenido. Resultaba de aquí que el vidrio procedente de una colada no era exactamente igual al de otra de la misma marca y que se vendía con el mismo nombre.

Todo esto junto traía como consecuencia que fabricar un objetivo acromático de microscopio era cosa más difícil, y, sobre todo, bastante más expuesta a errores que lo es hoy día. Por esto tienen más mérito y llaman más la atención los admirables objetivos a que antes nos referíamos.

el examen somero de las preparaciones. Cuaquier objetivo acromático moderno posee corrección cromática superior al nuestro de Ross, pero en las demás cualidades no supera a éste.

A pesar de todos estos inconvenientes, a los pocos años de fabricación, los objetivos de Ross habían alcanzado un límite tal en las correcciones esférica y acromática que no resultaba ya indiferente, como hasta entonces lo había sido, examinar un objeto sin cubrir o examinarlo habiéndolo cubierto previamente con una lámina delgada de vidrio o talco, o sea con un cubreobjeto. El cambio en la definición de la imagen era tan perceptible que un objetivo hecho para examinar objetos descubiertos no podía servir, en realidad, para el examen de los cubiertos, y como no era práctico construir objetivos especiales para cada una de las dos maneras de observar, surgió la idea de los *objetivos con corrección*, que se debe también a Lister y que fué llevada a la práctica por Ross en 1838.

Consiste esta idea en modificar la distancia entre las lentes del objetivo, y es la misma que se aplica hoy día para el mismo fin. El primer objetivo de este tipo era de $1/8$ de pulgada de foco (1); la lente móvil era la frontal y su distancia a las demás se modificaba por medio de dos botones que salían al exterior y que llevaban tornillos de presión para fijarlos a la distancia requerida. Más adelante los dos botones fueron sustituidos por el collar, exterior al objetivo y provisto de una división, que todavía se emplea en la actualidad.

El año 1839 señala otra etapa importante para la microscopía inglesa, y casi nos atreveríamos a decir para la mundial. Nos referimos a la fundación en dicho año de la Royal Microscopical Society (Sociedad Real de Microscopía de Londres), que tanto ha influido en los progresos del microscopio y

(1) En la colección de la Sociedad Real de Microscopía de Londres se conserva un ejemplar de este objetivo, regalado a dicha Sociedad por un hijo del profesor Lindley.

en el de las ciencias que se valen de este instrumento (1). Su iniciador fué el reputado naturalista inglés James Scott Bowerbank, miembro de la Royal Society, a la que tantas veces hemos mencionado en estas páginas, y de la que en sus comienzos fué una a modo de filial la R. M. Society.

Los relatos de las sesiones de esta Sociedad, los trabajos de sus socios y los aportados por sus colaboradores se publicaban en varias revistas científicas del Inglaterra, entre otras en el *Journal of the Quekett Microscopical Club* y en el *Quarterly Journal of the Microscopical Science*; pero en el año 1878 la Sociedad decidió hacer sus publicaciones por sí misma y fundó el *Journal of the Royal Microscopical Society*, cuyo primer número data de febrero de dicho año; continuando publicándose desde entonces sin interrupción en cuadernos anuales, que forman un tomo de 800 a 1.000 páginas, con profusión de figuras y grabados. Esta publicación es todavía la más importante que existe en ciencia micrográfica (2).

(1) Durante muchos años ha sido esta Sociedad el centro de la microscopía del mundo entero. A ella acudían los sabios de todos los países para dar a conocer sus descubrimientos, pedir orientaciones y enterarse de lo que en otras partes se había hecho en tal o cual especialidad relacionada con la microscopía. Buena prueba de la importancia de este centro científico es que el que bien se puede llamar creador de la microscopía actual, el profesor de la Universidad de Jena Carlos Ernest Abbe, acudió a ella para dar a conocer su célebre teoría, enviando sucesivas notas y Memorias escritas en inglés, que dicha Sociedad discutió, publicó y dió a conocer al mundo científico.

En la actualidad tiene todavía más extensión e importancia, si cabe; pero ya no es el único centro de microscopía, como era antes; en Alemania (Jena, Berlín y otras poblaciones), en los Estados Unidos y en otros países existen múltiples Sociedades, Institutos y laboratorios de microscopía que realizan diversos fines relacionados con esta ciencia.

En Inglaterra ha contribuido también no poco a los progresos de la microscopía el *Quekett Microscopical Club*, que tomó su nombre del famoso microscopista John Quekett.

(2) El *J. R. M. S.* comprende las secciones siguientes:

1.ª Actas de las reuniones de la Sociedad y publicación de los trabajos presentados a ella.

En el año 1841 la Sociedad Real de Microscopía encargó un microscopio completo a cada uno de los tres constructores mencionados, o sea a Ross, Powell y Smith, previniéndoles que sus instrumentos habían de ser objeto de un concienzudo examen. Dicho se está que cada constructor procuró entregar los mejores objetivos y elementos ópticos que era capaz de fabricar. Estos tres instrumentos, que figuran desde entonces en la colección de la Sociedad, son la mejor fuente para conocer el grado de perfección a que había llegado entonces la microscopía en Inglaterra. Como resumen de un examen detenido que hemos hecho de estos instrumentos podemos decir lo siguiente (1) :

2.^a *Zoología*, subdividida en *Vertebrados* (embriología, histología y trabajos generales), *Tunicados*, *Moluscos* (cefalópodos, gasterópodos y lamelibranquios), *Artrópodos* (insectos, miriápodos, prototraqueados, arácnidos y crustáceos), *Annulata*, *Memato*, *Helminthes*, *Platyhelminthes*, *Incertae Sedis*, *Rotífera*, *Echinoderma*, *Coelentera*, *Porífera*, *Protozoa*.

3.^a *Botánica*. Trabajos generales. Estructura y desarrollo (vegetalino y reproductivo). Fisiología (nutrición y crecimiento, irritabilidad y fenómenos generales). Criptógamas, *Ploudophyta*, *Bryophyta*, *Thallophyta*, *Algae*, *Fungi*, *Lichens*, *Mycetozoa*, *Schizphyta*.

4.^a *Microscopía*, que se divide en las siguientes secciones: 1.^a Monturas. 2.^a Oculares y objetivos. 3.^a Aparatos de alumbrado y otros. 4.^a Microfotografía. 5.^a Óptica microscópica y manipulaciones. 6.^a Miscelánea.

5.^a *Técnica*, que se divide en las secciones siguientes: 1.^a Recolección de objetos y procedimientos de cultivo. 2.^a Preparación de objetos. 3.^a Cortes, inclusiones y micrótomos. 4.^a Teñido e inyección. 5.^a Montura, porta-objetos y cubre-objetos. 6.^a Miscelánea.

6.^a *Metalografía*.

(1) Debemos advertir que este examen lo hemos completado después trabajando en nuestro laboratorio con algunos objetivos de aquella época y otros posteriores, comparados con acromáticos y apocromáticos actuales, y aplicados a testigos naturales (diatómeas) y a los de Grayson de Melbourne.

Para las personas poco habituadas al manejo del microscopio, conviene explicar que estos testigos artificiales son láminas de vidrio en las que se han trazado con una punta muy fina de diamante grupos de rayas paralelas, en los que éstas van estando cada vez más próximas, esto es, que su número por milímetro va aumentando. El testigo de Grayson más potente se compone de doce grupos de rayas, en el primero de los cuales el número de rayas por milímetro

Todos los objetivos se componen de grupos dobles o triples de lentes cementadas con bálsamo de Canadá ; pero los de James Smith hacen excepción y están formados por lentes simples montadas a diferentes distancias una de otra. Entre estos objetivos de Smith hay uno que se distingue de los demás por ser de distancia focal variable, pudiendo obtenerse con él, por tanto, diferentes aumentos. Empleándolo con su frontal sola su distancia focal es de $1 \frac{1}{4}$ pulgadas ; esta frontal, combinada con una lente sobre ella reduce dicha distancia a $\frac{8}{10}$ de pulgada, y colocando en la montura todos los elementos del objetivo llega a ser de $\frac{1}{2}$ pulgada. Lleva un collar de corrección para graduar la distancia de los elementos y afinar la definición de la imagen. Los demás objetivos de este constructor son de $1 \frac{1}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{4}{10}$, $\frac{1}{4}$. Los dos primeros se pueden considerar como buenos para aquella época ; los dos últimos dan imágenes bastante deficientes.

Andrew Ross entregó dos objetivos de dos y una pulgadas de foco, respectivamente. El primero se puede calificar de excelente, pero el segundo no ; y esto es tanto más de extrañar cuanto que pocos años después este tipo de objetivo de una pulgada, que es tal vez el que más se usa en los trabajos corrientes de microscopía, lo construía Andrew Ross con perfección extraordinaria, según hemos señalado en una de las notas anteriores.

La serie de Hugh Powell se componía de cinco objetivos

es de 400, y el último de 4.724. Hay testigos naturales con mayor número todavía de elementos por milímetro. Algunas diatomeas, y entre ellas la *Amphipleura pellucida*, están en este caso. Poseemos una preparación de ejemplares elegidos de esta especie, en la que cada uno de ellos tiene más de 5.000 elementos (perlas) por milímetro.

Los testigos sirven para comprobar prácticamente las cualidades de los objetivos, especialmente el *poder de resolución*, o *poder resolvente*.

con 1, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16 pulgadas de distancia focal, o foco, respectivamente. A juicio nuestro (1) los objetivos de Powell eran superiores a los demás en definición, poder resolvente y luminosidad. Se destacan por su bondad los cuatro últimos, y especialmente el de 1/16", que es el objetivo de mayor aumento conocido en su época y cuyas correcciones son sencillamente admirables. Lo son también los ajustes de la montura y el centrado. Comprobado éste con el mayor cuidado, resulta que apenas hay que tocar al centrador cuando se pasa de uno a otro de los tres objetivos más potentes, y esto no se hace hoy día con más precisión que la que logró alcanzar Powell en aquella época.

Respecto a ángulos de abertura, el objetivo de 1/8" de Powell alcanzaba el de 83°, que entendemos es la mayor abertura conseguida entonces, si bien pocos años después Ross alcanzó la de 85° para el objetivo de 1/8 y la de 135° para el objetivo de 1/12.

En cuanto a las monturas, las de Ross y Smith se inspiraban en el modelo de Lister, y la de Powell tenía ya algo de esa forma tan original y bien estudiada que este constructor adoptó poco después y que ha conservado hasta la fecha.

Debemos llamar la atención sobre un detalle de suma importancia, del cual se preocupaban ya los constructores de estos tres microscopios. Es la *posición de la charnela, o sea del eje de suspensión respecto a los demás órganos*. Tiene capital importancia esto, porque de ello depende que el microscopio esté o no equilibrado cuando se inclina. La posición racional de la charnela es un poco por encima del plano superior

(1) Debemos hacer presente que esta opinión nuestra no concuerda en todo con la de Carpenter y otros que han dictaminado sobre dichos objetivos, a pesar de lo cual no vacilamos en exponerla y mantenerla.

de la platina o al mismo nivel que este plano si la montura está provista de una subplatina complicada y de un espejo con brazo articulado, en cuyo caso estos órganos pesan lo bastante para equilibrar el tubo y su óptica.

Los constructores ingleses empezaron a estudiar la posición de la charnela desde mediados del pasado siglo, y desde entonces ha sido este importantísimo detalle objeto de preferente atención en aquel país. De aquí que hayan conseguido un equilibrio y una estabilidad en sus monturas indiscutiblemente superiores a los de las construídas en el continente europeo y en Norteamérica, en cuyo último país los dos constructores más importantes, Spencer Lens C°, de Buffalo, y Bausch & Lomb Optical C°, de Roebeste, desde mediados del siglo pasado han ido copiando las monturas continentales, modificándolas a veces ligeramente, pero conservando la misma posición de la charnela que en aquéllos tienen. Esta posición es manifiestamente defectuosa en dichas monturas continentales, porque en ellas el eje está situado por debajo del plano superior de la platina y hay sobre aquél un peso siempre mayor que el de los órganos inferiores; de donde resulta que los microscopios continentales, tanto antiguos como modernos, tienen tendencia a caer hacia atrás cuando se trabaja con ellos en posición inclinada, y este defecto de estabilidad es de los más graves que puede tener el instrumento, máxime generalizándose, como se generaliza más cada día, el trabajo en posición inclinada.

Parece a primera vista que este problema mecánico de situar la charnela aquí o allí ha de ser fácil de resolver, y no es así, sino que, por el contrario, de la posición del eje depende la estructura entera del microscopio, la forma que se ha de dar al limbo y la posibilidad de que el tubo pueda tomar cualquier

posición entre la horizontal y la vertical. No es tan fácil, pues, situar el eje de suspensión donde se quiera, ni cambiarlo de sitio una vez construída la montura. Al proyectar la armadura metálica del microscopio se establece la posición citada y se calculan y distribuyen los demás órganos, y aquí está la causa del efecto, y es que los constructores continentales y americanos no se han convencido todavía por completo de la importancia que tiene una posición equilibrada (1), criterio que tal vez dependa del hábito que antes tenían, y aun ahora tienen, muchos operadores del continente, de trabajar con el microscopio vertical, para cuya posición, dicho se está, no importa nada la posición de la charnela. En cambio, los microscopistas ingleses han tenido siempre la costumbre de trabajar con el microscopio inclinado, y es natural que hayan procurado establecerlo en cualquier posición.

Desde esta época hasta la aparición de la teoría de Abbe, en 1873, no se hace en microscopía ningún descubrimiento de capital importancia ; pero, en cambio, la parte óptica, y más todavía la mecánica del microscopio, se van perfeccionando sin cesar. El instrumento tiene nuevas aplicaciones a cada paso ; la demanda de aparatos es grande, y para hacer frente a ella se fundan en el continente nuevas casas constructoras, y las que ya existían renuevan y aumentan su material. El centro productor más importante del continente es París. Además de la casa Nacet, ya célebre entonces, se fundan la de Hartmack, Pratymowsky, Bezu & Hauser y algunas otras de menor importancia. Se fabrican también microscopios en Berlín, Jena y

(1) Decimos *por completo*, porque de ocho a diez años a esta parte algunos constructores, como Leit, Reichert y Zeiss mismo han ido alterando un tanto la forma de sus monturas, elevando en los nuevos modelos el eje de suspensión. Una ojeada a los catálogos recientes de los constructores citados pondrá esto de manifiesto.

Viena. En los Estados Unidos se funda la casa Spéncer y la de Tolles. Esta última adquiere pronto reputación mundial por la excelencia de sus objetivos, que se distinguen sobre todo por su elevado ángulo de abertura.

Con esta propiedad, *ángulo de abertura*, ha ocurrido un hecho que en la historia de las ciencias es bastante frecuente. Consiste en descubrir una propiedad y sacar partido de ella sin conocer su explicación científica. Todos los ópticos de entonces se daban cuenta de que mientras mayor fuera el ángulo de abertura de un objetivo más luminosa y más rica en detalles era la imagen que daba. Sabiendo esto, dicho se está que procuraban aumentar dicho ángulo por todos los medios a su alcance. También averiguaron, empíricamente, por decirlo así, que la calidad de las imágenes mejoraba cuando se interponía una gota de agua entre la frontal del objetivo y el objeto. De aquí datan los objetivos llamados de inmersión, cuya construcción y empleo son anteriores a la teoría de Abbe, que vino a explicar la razón de ser de la citada propiedad.

Natural es que se emitieran hipótesis para explicar estos hechos; en efecto, buena parte de lo escrito entonces sobre microscopía versa sobre este tema de la abertura. Es curioso, sin embargo, comprobar lo distantes de la verdad que estaban las citadas hipótesis y el falso concepto que entonces se tenía sobre la formación de la imagen microscópica. No tendría objeto detenernos en la exposición y análisis de estas hipótesis. La mejor fuente para conocerlas es lo publicado en el *Journal of the Royal Microscopical Society*, de Londres, entre los años 1860 y 1870.

Los Gobiernos de Francia e Inglaterra ayudaron a los progresos de la microscopía creando secciones especiales para ella en las exposiciones que celebraban y otorgando premios de

consideración a los mejores microscopios y elementos ópticos. Las exposiciones celebradas en París durante el segundo Imperio y las del Cristal Palace, de Londres, fueron las que contribuyeron con más eficacia a los fines dichos.

Llegamos ahora al período comprendido entre 1872 y 1880, que es el de la publicación, discusión y aceptación por el mundo científico de la tan justamente celebrada *teoría de Abbe*, que modificó el concepto que entonces se tenía acerca de la formación de la imagen microscópica y trajo como consecuencia un cambio radical en la construcción de los elementos ópticos del microscopio.

Carlos Ernesto Abbe comenzó a distinguirse como hombre de ciencia en la tesis que sobre óptica matemática presentó en sus ejercicios para el doctorado en Ciencias. Contrajo matrimonio con una hermana de Carl Zeiss, dueño de una fábrica de instrumentos de óptica, y especialmente de microscopios, establecida en Jena. La reputación de esta fábrica no era entonces envidiable. Los microscopios de Zeiss se distinguían más por su baratura que por su calidad.

Abbe asumió la dirección de la fábrica, a la cual dedicó todo su entonces reducido capital, y al poco tiempo ya se echaron de ver notables mejoras en los instrumentos de la firma Carl Zeiss.

En 1873 presentó Abbe su primera memoria, escrita en inglés, en la Sociedad Real de Microscopía de Londres. En esta Memoria se exponían los conceptos fundamentales de la formación de la imagen en el microscopio, se demostraba la capital influencia de la difracción y se planteaba el concepto de la *apertura numérica*, término inventado por Abbe y que era el punto culminante, por decirlo así, de su teoría.

A esta primera Memoria siguieron otras cinco destinadas a

ampliar los conceptos fundamentales de la primera y a exponer otros nuevos. Todas ellas son cortas, concisas y de admirable claridad. Los argumentos de óptica física vienen robustecidos por demostraciones matemáticas de *inexorable exactitud*, a pesar de lo cual la teoría fué discutida con gran apasionamiento en el seno de la citada Sociedad, como no podía menos de serlo aquel cuerpo de doctrina que echaba abajo los conceptos entonces universalmente admitidos sobre óptica micrográfica. Algunos de los enunciados de la teoría produjeron verdadero estupor, entre otros, la afirmación de que en un objetivo de microscopio podían entrar más rayos de los contenidos en un hemisferio de aire. Se formaron dos grupos en la Sociedad de Microscopía : el de los partidarios de la teoría de Abbe y el de sus detractores. Hubo una verdadera lucha alrededor de la *apertura*, y el caudal de argumentos en pro y en contra es la exposición condensada de cuanto se sabía entonces sobre óptica microscópica, por cuyo motivo la Sociedad recopiló todo lo dicho y escrito sobre este tema y publicó con ello un libro titulado la *Cuestión de la apertura*, que viene a ser una historia compendiada del proceso de implantación de la teoría de Abbe (1).

(1) Procedería ahora exponer, siquiera fuera de un modo sucinto, los fundamentos de esta teoría. No lo hago por dos razones : la una porque sería apartarme un tanto del asunto puramente histórico de este Discurso ; la otra, la principal, porque precisamente a la pluma de un español se debe la mejor exposición que se conoce de la teoría de Abbe. Está escrita por nuestro eminente compañero D. Joaquín María de Castellarnau y se titula *Visión microscópica*. Fué publicada por la Real Sociedad Española de Historia Natural en 1885, y ha sido publicada en 1811 por una extensa Memoria impresa por la Junta de Ampliación de Estudios. Esta Memoria es el resumen de una serie de conferencias dadas por el Sr. Castellarnau en el Museo de Ciencias Naturales en dicho año 1911.

El calificativo de la *mejor exposición* que acabo de aplicar a la obra del Sr. Castellarnau podría parecer demasiado categórico, y tal vez pudiera creerse

Los resultados prácticos de esta teoría han sido de gran importancia y se puede afirmar, sin temor a exageraciones, que han cambiado de un modo radical la construcción de los elementos ópticos del microscopio.

Demostrado el proceso óptico de la formación de la imagen, los objetivos, oculares y condensadores se pudieron calcular con rigurosa exactitud antes de construirlos y fijar de antemano el valor numérico de los factores ópticos que habían de poseer una vez construídos. Los más importantes de estos factores, o sea la apertura numérica, distancia focal y luminosidad, se podían fijar antes de construir el objetivo, y así se empezó a hacer y así se ha seguido haciendo hasta el presente.

Mas para que los resultados correspondiesen en la práctica exactamente con los teóricos que anticipaban las fórmulas era absolutamente necesario disponer de vidrios distintos de los que antes de Abbe se empleaban para la fabricación de aparatos de óptica. Hacían falta vidrios en los que hubiera proporcionalidad constante entre el índice de refracción y el poder dispersivo. Era preciso también conseguir uniformidad en las coladas, esto es, que una vez conseguido un vidrio de determina-

que lo he empleado cegado por la íntima amistad que me une desde hace muchos años con mi respetado y admirado maestro D. Joaquín María de Castellarnau. No es así, sin embargo; el calificativo en cuestión no ha partido de mí, sino del mismo autor de la teoría, del profesor Carlos Ernesto Abbe, el cual, en 1887, contestando a una carta mía en la que le preguntaba yo en qué libros podría imponerme mejor del conjunto de su teoría, me contestó dándome una lista de obras, al final de la cual decía: «pero la mejor exposición que conozco de mi teoría se debe a la pluma de un compatriota de usted, el Sr. D. Joaquín María de Castellarnau, y ha sido publicada por la Sociedad Española de Historia Natural con el título *Visión microscópica*», etc.

Tal es el juicio imparcial que al profesor Abbe merecía el trabajo de nuestro compañero. Creo que estas cosas que tanto enaltecen a nuestros hombres de ciencia hay obligación de decirlas, siquiera sea en contraposición de los apasionados y desfavorables juicios que con lamentable frecuencia se emiten al otro lado de la frontera sobre la ciencia española.

das propiedades, se pudiese obtener este mismo vidrio cuantas veces hiciera falta obtenerlo. Se necesitaba, por último, disponer de más clases de vidrio que hasta entonces, unos con mayor poder dispersivo, otros con índice más elevado, y todos ellos con la mayor luminosidad o transparencia posible, porque para llegar a las aperturas y correcciones a que aspiraba Abbe era necesario aumentar el número de lentes simples de que hasta entonces se habían compuesto los órganos ópticos del microscopio, especialmente los objetivos.

Esta fué la segunda labor del profesor Abbe, labor difícil, y, sin embargo, indispensable para llevar a la práctica los resultados de su teoría.

La acometió asociándose a un químico eminente, al doctor Otto Schoot (1), especialista ya entonces en la fabricación de vidrios para óptica. Auxiliados por el Estado alemán fundaron la *Vidriería Científica de Jena* (Glastechnische Laboratorium), y después de una larga serie de ensayos sistemáticos consiguieron obtener esa serie de vidrios, en muchos de los cuales el boro substituye en parte al silicio, hoy universalmente conocida con el nombre de *Vidrios de Jena*, que realiza completamente el fin deseado. Con estos vidrios, generalizando más el empleo del espato-flúor, ya usado por Tolles en algunos de sus objetivos, consiguió Abbe llevar sus fórmulas a la práctica realizándolas en esos admirables objetivos llamados *apocromáticos*, en los que el residuo de orden terciario que queda de ambas aberraciones está fuera del alcance de la retina, pudiéndoselos considerar, por lo tanto, como completamente acromáticos.

Los oculares, condensadores y elementos auxiliares del microscopio se perfeccionaron también merced a los nuevos vi-

(1) El Dr. Otto Schoot hizo sus primeros trabajos en España, dirigiendo una fábrica de productos químicos instalada en Oviedo.

drios. Los objetivos ordinarios, esto es, aquellos en que las correcciones no alcanzan el grado que en los apocromáticos, se han mejorado hasta tal punto que hoy día sólo en casos muy especiales hay que echar mano de estos últimos.

La parte mecánica del microscopio ha seguido la evolución de la parte óptica, adaptándose a las necesidades que esta última exigía. De aquí la precisión realmente asombrosa de los mecanismos de enfocar modernos; de la precisión en la longitud óptica del tubo, que se obtiene merced a las alargaderas de que van provistos; de los mecanismos de centrar en la subplatina, y de aquí también, por último, esa serie de detalles mecánicos precisos que poseen los microscopios actuales y que no describimos porque, a más de que sería tarea inacabable, no conduciría a fines prácticos, bastando, como basta, para formarse cabal idea de ellos la inspección del catálogo de cualquier constructor de microscopios de hoy día.

A medida que han ido progresando todas las ciencias que se valen del microscopio han ido necesitando la presencia en este instrumento de órganos especialmente adaptados a los fines privativos de cada una de aquéllas.

Esta demanda, acogida como debía serlo por los constructores, ha dado lugar a la creación de esa infinidad de tipos especiales que hoy figuran en las listas de material científico. Así han surgido los microscopios petrográficos, metalográficos, bacteriológicos, de disección, de viaje y tantos otros.

Esta tendencia se acentúa más cada día y los microscopios especiales se van diferenciando entre sí más y más.

Réstanos decir algo sobre los descubrimientos de importancia hechos en el campo de la microscopía después de conocida la teoría de Abbe. Prescindiremos de las ampliaciones y desarrollos que a esta última han aportado micrógrafos notables

como Nelson, lord Raleigh y otros, porque esto nos llevaría muy lejos, y nos ceñiremos a indicar, siquiera sea brevemente, los dos inventos más notables de la microscopía moderna, que son : la *ultramicroscopía* y la *aplicación al microscopio de la luz ultravioleta*. El primero se debe, en gran parte, a Siedentorpf ; el segundo procede de investigaciones realizadas por varios ópticos, reunidas en un cuerpo de doctrina que se tradujo prácticamente en el conocido aparato de la casa Zeiss, de Jena, cuya construcción ha dirigido el Dr. A. Kohler.

La ultramicroscopía se basa en el razonamiento siguiente : supongamos un cuerpo, una partícula material tan excesivamente pequeña que sea imposible verla ni aun con el objetivo más potente hoy conocido y alumbrado con la luz de onda más corta. Obtener una imagen que nos muestre la forma de esta partícula será ópticamente imposible.

Pero cabe buscar la resolución del problema de un modo indirecto. Consiste este medio en alumbrar vivamente la partícula manteniendo al mismo tiempo obscuro el campo del microscopio. Entonces la partícula resaltará cual vivo destello de luz sobre un fondo negro. No veremos su forma, como no vemos las de las estrellas ; no sabremos si su contorno es redondo, poligonal o sinuoso ; pero sí veremos otros atributos de la partícula, como son el color, sus movimientos en un espacio dado y su manera de obrar ante tales o cuales reactivos o ante otras partículas de diferente naturaleza.

Estos resultados se obtienen con la llamada *ultramicroscopía* y por diversos procedimientos, basados todos en el mismo principio óptico : Alumbrar el medio que contiene las partículas por una corona anular de rayos que, por incidir muy oblicuamente, sufrieron reflexión total al herir al medio, pero no al herir a las partículas. Estas, por lo tanto, enviaron la luz reflejada

al ojo del observador y aparecerán brillantemente alumbradas, y en cambio, el medio que las envuelve se verá oscuro porque la luz que refleja se desvía hacia abajo y sale fuera del tubo del microscopio.

¿Hasta dónde se puede llegar por este camino? No es dable contestar con certeza a esta pregunta. El límite depende, ante todo, de la naturaleza misma de la partícula, de su mayor o menor potencia reflectora, y depende, en segundo lugar, de la intensidad específica de las luces de que se disponga, de la oblicuidad del haz luminoso y de los medios que se pueden descubrir en lo futuro para realizar la separación óptica entre el medio y las partículas. Con alguno de los procedimientos actuales se han llegado a percibir partículas cuyo tamaño, calculado por otro orden de consideraciones, no debe exceder de cinco millo-nésimas de milímetro.

Los resultados que se obtienen con la luz ultravioleta son de dos órdenes : uno es aumentar el poder resolvente de los objetivos, disminuyendo la longitud de onda de la luz que alumbrá al objeto, hecho que se deduce de una de las fórmulas fundamentales de Abbe, de la que da el valor del poder resolvente de un objetivo, en cuya fórmula el denominador de la fracción que determina dicho poder es la longitud de onda de la luz empleada.

El otro resultado obtenido con la luz ultravioleta es la diferenciación que ésta origina entre los diversos componentes de una preparación microscópica, especialmente en los de tejidos orgánicos. Si se examina un corte delgado de uno de estos tejidos, las células, fibras, gránulos y demás elementos apenas se distinguen unos de otros, debido a que su índice de refracción, su transparencia y su color son casi los mismos para cada elemento. Esto sucede cuando se alumbrá el tejido con las luces ordinarias de la longitud de onda que corresponde al espectro visi-

ble. Pero si se alumbrá con luz ultravioleta obtenida con la chispa eléctrica que salta entre dos electrodos de cadmio, luz cuya longitud de onda es 0,275 micras nada más, el aspecto del tejido cambia por completo, debido a que sus elementos son desigualmente transparentes para esta luz y aparecen diferenciados unos de otros, cual si se hubieran teñido por un reactivo químico, como se hace en la técnica histológica.

Con esta aplicación de la luz ultravioleta parece haberse llegado al límite máximo asequible. La radiación del espectro del cadmio con longitud de onda 0,275 micras pasa a través de las lentes y prismas de cuarzo que se emplean en substitución de las de vidrio, por ser éste opaco para las radiaciones ultravioletas. Mas para las que poseen longitudes de onda menores que la del cadmio, ya empieza a ser opaco el cuarzo y la dificultad es aún mayor, porque el aire es también poco transparente para las radiaciones cuya longitud de onda se aproxima a 0,20 micras y llega a ser opaco o casi opaco para los menores de esta última longitud.

Se tropezaría, por tanto, con dificultades operatorias punto menos que invencibles si se tratase de utilizar radiaciones suficientemente intensas, dado que se encontrasen, cuya longitud de onda fuera menor de 0,20 micras.

Tal es el estado actual de la microscopía. Dista mucho, muchísimo el microscopio de su etapa final, que sería revelarnos la constitución íntima de la materia hasta sus últimos límites. Pero si consideramos el gigantesco salto que significa pasar de la primitiva lente asiria al microscopio actual, no podemos menos de admirarnos de la colosal labor que han realizado los hombres de ciencia en su afán de descubrir los innumerables arcanos del mundo invisible y de inclinarnos con respeto ante este colosal esfuerzo, tan pródigo en resultados.

CONTESTACIÓN

DEL EXCMO. SEÑOR

D. DANIEL DE CORTÁZAR

SEÑORES :

No obstante el temor que naturalmente siento de molestar en demasía con mis repetidas arengas en las recepciones de nuevos académicos, voy una vez más a abusar de la bondad de cuantos me escuchan, fiando en que, como personas bien nacidas, me concederán su perdón, cuando entiendan que además de cumplir con la obligación que siempre tiene de acompañar al bi-sosno el que es veterano en el oficio, satisfago también, del mejor modo que puedo, el encargo recibido del que fué ilustre Presidente de esta Academia, el Excmo. Sr. D. Amós Salvador (q. e. p. d.).

Suele considerarse como de privilegio el sistema con que se nombran y renuevan los individuos de las Academias nacionales en todos los países, procedimiento sin duda excelente, pues se ve que, a través del tiempo, aquellas Corporaciones sostienen su fama, por encontrarse siempre, merced a las sucesivas substituciones, en la vanguardia del progreso de las Ciencias, de las Letras y de las Artes, según los sendos cometidos, a pesar de la animosidad que contra las mismas Academias persiste, por

los envidiosos y despechados que, sin conseguirlo, aspiran a formar parte de ellas, olvidando, por exceso de amor propio, su falta de verdadero valer o su desmaña para lograr sus pretensiones.

Y se afirma el hecho porque, no obstante su frecuencia, siempre que desgraciadamente desaparece uno de los académicos, por grande que sea su mérito, pueden los compañeros que quedan ponerse en inmediato acuerdo para cubrir la vacante, pues entre los muchos candidatos que se ofrecen no falta quien sobresalga, no sólo por reunir indiscutibles méritos para el cargo, sino también por traer con los alientos del neófito nuevas fuerzas con nuevas orientaciones para el adelanto general y la gloria de la Corporación a que pertenecerá y poder así reemplazar dignamente al que a primera vista parecía insustituible.

Establezco estas consideraciones, que entiendo ahora muy pertinentes, porque hoy en nuestra Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se presenta el caso de que al insigne ingeniero de Minas el Excmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano substituye otro ingeniero de Minas, de fama y méritos incuestionables, el Sr. D. Domingo de Orueta, y yo he de dar la bienvenida al uno y deplorar la ausencia del otro, cual caso de indudable honor con que aspiro a contribuir a la exaltación del Cuerpo de Ingenieros de Minas a que pertencí largos años, y al propio tiempo a tributar públicamente las expresiones de mi cariño y amistad para el compañero que nos dejó y para el compañero que a nosotros llega.

Habéis oído al Sr. Orueta las frases que dedica a la memoria de su antecesor en el sillón académico, y fácilmente comprenderéis que es innecesario ampliar el retrato científico con algunos detalles que procurando modificar el contorno del dibujo es lo probable que desfigurasen el parecido ; pero el recuer-

do de los muchos años que tuve por camarada y fiel amigo al desaparecido me obliga a llorar ahora su ausencia y dirigir una plegaria al Dios de la Justicia y de las Misericordias, implorando el eterno descanso del que fué gran ingeniero, gran naturalista y gran caballero.

Como nacido en Málaga, en 24 de enero de 1862, y con el nombre de Domingo, se bautizó en aquella ciudad un niño, hijo de D. Domingo de Orueta y Aguirre, cumplido y correctísimo señor a quien yo tuve la satisfacción de tratar personalmente y de admirar por su talento y cultura. Era también malagueño, pero se educó en Inglaterra cuando allí las Ciencias Naturales tenían por egregios representantes a Darwin, Huxley, Lubbock, Wallace y otros que fueron maestros del español, que al volver a nuestra patria vino grandemente aficionado a la Geología y a la Paleontología, dedicando a ellas gran parte de su tiempo, asociado con el que había sido amigo y compañero de estudios, y andaluz como él, D. José Mac-Pherson, el mismo que aun no hace mucho figuraba con honor entre los geólogos españoles más sobresalientes de fines del siglo pasado.

Fruto de las excursiones que aquellos amigos hicieran son diversos trabajos publicados, de los cuales corresponden al señor Orueta y Aguirre algunos que quiero recordar: 1.º *La Nota acerca de la existencia del jurásico superior en Antequera*, que fué presentada en la Sociedad Geológica de Londres, en 7 de febrero de 1872. 2.º El notabilísimo estudio paleontológico titulado *Los Barros de los Tejares*, referente al estudio y descripción de los fósiles terciarios que se encuentran en las cercanías de Málaga. Y 3.º *Los Estudios petrográficos de la Serranía de Ronda*.

En las excursiones precisas para estos y otros trabajos semejantes solía tomar parte el hijo de Orueta, muchacho que así

empezó a aficionarse a la Geología y a manejar el microscopio, trabajos que desde entonces siempre cultivó hasta llegar a ser el hoy maestro admirado que se llama Sr. D. Domingo de Orueta y Duarte.

Comenzó éste a estudiar primero la carrera de perito químico, que terminó con brillo, y de seguida se preparó rápidamente e ingresó en la Escuela de Minas el año 1880, obteniendo el título de ingeniero en 1885. Todos los años de Escuela fué el número uno de la promoción y con la nota de sobresaliente llegó al final de la carrera.

Cuando estudiaba el último año de ésta ocurrieron en las provincias de Málaga y Granada grandes terremotos, por lo que Orueta pidió autorización al entonces director de la Escuela de Minas, nuestro antiguo compañero de Academia D. Luis de la Escosura, para recorrer la región devastada y tratar de investigar las causas del fenómeno y sus relaciones con la constitución geológica del país.

Concedido el permiso realizó Orueta su propósito y poco después publicó el primero de sus libros, que se titula *Informe sobre los terremotos ocurridos en el Sur de España en diciembre de 1884 y enero de 1885*.

Al salir de la Escuela de Minas se dedicó el novel ingeniero a trabajar en empresas particulares y fué subdirector de las minas de Matallana, y de la Ferrería de Heredia, de Málaga, pero comprendió que por aquel camino no llegaría nunca a tener la posición que ambicionaba y para lograrla se dedicó a trabajar libremente y por su cuenta.

Elegió a Gijón por juzgar que era punto apropiado para el objeto que se proponía y montó unos talleres de forja, en los que empezó a fabricar herramientas de acero y los envases metálicos llamados *frascos*, con que se hace el transporte del azogue

desde las minas de Almadén a los mercados de todo el mundo, y poco a poco fué ampliando aquellos sus talleres, fabricando piezas de acero forjado de todas clases, especialmente de las usadas en el material de los Caminos de Hierro, lo que después amplió a la construcción de vagones y coches para ferrocarriles y tranvías, llegando así el modesto establecimiento primitivo a ser la fábrica actual, que emplea 200 caballos de potencia, 200 operarios y una producción anual valorada en unos 4 millones de pesetas.

En el año 1913, sin duda consideró Orueta realizadas buena parte de sus legítimas aspiraciones, pues entonces puso al frente de su fábrica a su hijo Manuel, ya ingeniero de Minas, trasladó su residencia a Madrid, conservando, sin embargo, la alta dirección de su negocio fabril, y se dedicó con toda libertad a sus favoritas aficiones científicas. Orueta ha trabajado siempre solo, nunca ha tenido para sus negocios y trabajos ni socios ni colaboradores y así sigue.

Desde que terminó en la Escuela la carrera de ingeniero dividió sus afanes en dos partes, una dedicada a los cuidados y adelantamiento de los negocios de su fábrica, esto es, a hacerse rico, y la otra a satisfacer las aficiones que desde niño tuvo a la Microscopía, a la Geología y a la Petrografía, cuidados en los que, según dice, ha tenido por maestros queridísimos e inolvidables, a más de su padre, a D. José Mac-Pherson y a don Joaquín María de Castellarnau, nuestro sabio camarada y uno de los primeros micrógrafos que en España supieron sacar partido de los principios y consecuencias de la teoría de Abbe, según lo dió a conocer con el admirable trabajo *Visión microscópica*, publicado en 1885 en el *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*.

Obligaban a Orueta sus negocios industriales a hacer fre-

cuentes viajes a Inglaterra y Alemania, y esto lo aprovechaba para mantenerse en contacto en aquellos países con las Sociedades y sabios más competentes en las ciencias que le interesaban.

Así, en el año 1889 entró en relaciones científicas con la casa Zeiss, de Jena, dirigida entonces por el profesor C. A. Abbe, y poco después fué nombrado Orueta colaborador de dicha casa y del *Glastechnische Laboratorium*, dirigido por el Dr. Otto Dchoyt. Trabajó con ambos sabios y sus auxiliares y también con algunos de los profesores de la Universidad de Jena, el Dr. Gottloblink, de Petrografía, y el Dr. H. Herkovitch, de Química óptica, los mismos que después hubieron de venir a Gijón en varias ocasiones para estudiar con Orueta en el laboratorio de éste.

En 1886 fué nombrado Orueta *Fellow* de la Royal Microscopical Society de Londres, y dos años después de la American Microscopical Society de Decatur (Illinois), E. U. A., y de la United States Optical Society de Wáshington, y desde aquellas fechas sigue siendo, nuestro sabio, colaborador científico de varias casas de óptica europeas y norteamericanas.

Juntamente, y como ingeniero de Minas, fué profesor de la Escuela de Auxiliares facultativos de Minas, Hornos y Máquinas de Mieres, es hoy subdirector del Instituto Geológico de España, y ha tenido los cargos de presidente de la Sociedad Española de Física y Química y el de vicepresidente, que actualmente es, de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

En 1913 emprendió Orueta el estudio geológico y petrográfico de la Serranía de Ronda, con el principal fin de completar los trabajos hechos allí por Mac-Pherson y Orueta padre, y observando en preparaciones microscópicas la naturaleza de las rocas hipogénicas de aquella Serranía tuvo la suerte de

descubrir en ellas el platino y poder confirmar la existencia en aquel país de excepcionales yacimientos de níquel y cromo.

Orueta no quiso guardar para propio provecho nada, absolutamente nada, de lo que había descubierto y decidió generosamente ofrecerlo todo al Estado para general utilidad. Y a fin de dar eficacia a esta cesión hizo conocer sus descubrimientos en el Instituto de Ingenieros civiles en una conferencia, a la que hizo asistieran taquígrafos, lo cual permitió que a los pocos días lo dicho estuviera impreso tal como se había expuesto por el autor, cerrándose así el paso a exageraciones o a interpretaciones equivocadas.

Consecuencia de lo manifestado por Orueta fué que el Estado dispusiera el reconocimiento oficial y científico de la Serranía en virtud de la llamada «Ley del Platino», la historia de la cual es ocioso referir aquí por bien sabida.

Se hizo el reconocimiento, dirigido por Orueta, y por fortuna sus resultados superaron en mucho a lo que el descubridor había manifestado en la antes citada conferencia, pues cubicada la cantidad de platino que puede extraerse del terreno en cuestión resulta con un valor de siete millones y medio de pesetas al precio hoy corriente, y podría beneficiarse todo el metal adquiriendo los aparatos convenientes y con un gasto total de personal y material de menos de dos millones de pesetas, aun incluyendo la amortización total del citado material. Pero mucho más, incomparablemente más que el platino descubierto, valen los criaderos de níquel y cromo que Orueta ha señalado con sus reconocimientos en los Jarales y en Sierra de Aguas. Sobre todo los del primer metal, tan importante hoy día en las fábricas de Artillería y en las de automóviles, aeroplanos y toda clase de máquinas que hayan de usar combustibles líquidos, pues los dichos criaderos bastarán para surtir de níquel y ferroníquel a

todas las fábricas de España durante un siglo, aun en el supuesto de que duplicase el consumo actual.

Todo esto se halla bien especificado en un folleto que con el título «Informe sobre el Reconocimiento de la Serranía de Ronda» se publicó en el *Boletín del Instituto Geológico de España*, y del cual se hizo una tirada aparte que se repartió profusamente. El dicho informe termina aconsejando al Estado : 1.º, que se reserve todos los terrenos platiníferos, así como los criaderos de cromo y níquel, y 2.º, que instale en la Hoya de Carratraca una fábrica para transportar los minerales de cromo y níquel en ferrocromo, ferroníquel y níquel puro, que son los productos empleados por la industria.

Desgraciadamente el Estado, si bien ha seguido al pie de la letra la primera parte del consejo, no ha hecho lo mismo con la segunda.

Todo el platino, níquel y cromo de la Serranía de Ronda es actualmente propiedad del Estado, quien ha acotado los criaderos ciñéndose rigurosamente a los linderos señalados en el informe de Orueta ; pero ni ha comenzado a explotar el platino, ni se ha construído la fábrica de transformación metalúrgica, ni se ha vuelto a ocupar en semejante asunto. Por ello Orueta ha dado por terminado su cometido; con la satisfacción de entregar al Estado mucho más de lo que desde el principio ofreciera; pero le es, sin embargo, doloroso que su desprendimiento y su labor hayan resultado estériles hasta la fecha.

Pronto se nota que los trabajos de Orueta han sido de dos clases : publicaciones e investigaciones. Éstas se han dado a conocer en conferencias y discusiones en las Sociedades científicas a que pertenece el autor, y algunas de ellas han pasado a la imprenta para ser recibidas con general aplauso.

Entre las publicaciones merecen señalarse la titulada *Micros-*

copía, que forma dos tomos de más de 500 páginas cada uno, en los que ampliamente se trata de las teorías del microscopio, la composición óptica y mecánica de este instrumento y la enseñanza de su manejo práctico. Puede afirmarse que ésta es la obra capital de Orueta y la más completa de cuantas referentes al asunto existen en todo el mundo.

«Determinación de los feldespatos triclinicos por medio de sus caracteres ópticos en la zona perpendicular a g^1 » es trabajo que fué dado a luz en el *Boletín del Instituto Geológico de España*.

«Procedimiento óptico para facilitar el estudio de los minerales isotropos y el de las maclas complejas» es labor también publicada en el mismo *Boletín*.

Estudio petrográfico de la Sierra Almijara y de la parte occidental de Sierra Nevada. Forma un tomo de las Memorias del Instituto Geológico.

El mérito de estas obras del Sr. Orueta resultará más patente relacionándolo con las investigaciones hechas, colaboraciones realizadas y aparatos por él inventados, según ordenadamente debe exponerse.

«Aparato para microtopografía instantánea.» Fué construído en 1892 por la casa Zeiss, la cual adquirió para él una patente de invención en Alemania, publicándose su descripción en el *Zeiss für Mik. Tech.*, en 1897.

«Procedimiento para investigación óptica del espato flúor.» Tuvo el trabajo por principal objeto poder determinar si trozos de dicho mineral son o no aplicables para la construcción de lentes. La propiedad del invento la cedió el autor al *Glastechnische Laboratorium* de Jena en 1897.

«Obtención de 30 microtopografías de testigos difíciles». Fueron hechas con objeto de demostrar prácticamente las ca-

pacidades ópticas de los objetivos microscópicos.» Trabajo realizado por el autor en la casa Zeiss, de Jena, en 1899, y las microtopografías en cuestión fueron exhibidas en la Exposición Universal de París, en 1900.

«Estudio teórico de un vidrio de óptica cuyo espectro sea igual o difiera muy poco del espectro normal obtenido con una red de difracción.» Este trabajo lo empezó el Sr. Orueta por iniciativa propia en 1902, consiguiendo al año siguiente resolver la mayor dificultad del problema, consiguiendo a originarse silicatos solubles en el seno de la masa vítrea fundida. La firma Shott & Genosen, propietaria del *Glastechnische Laboratorium*, de Jena, ha sacado partido de este trabajo y ha publicado sus resultados en su revista de 1904.

«Proyecto de un horno de gas para el enfriamiento progresivo de los grandes bloques de vidrio destinados a la construcción de objetivos astronómicos.» Trabajo realizado por encargo de un grupo de fabricantes americanos en 1917.

«Aumento del poder resolvente de los objetivos empleando radiaciones de corta longitud de onda.» Comenzando este estudio en 1901 por cuenta de nuestro autor en unión de los ópticos de la casa Zeiss, ha contribuido desde poco después, sin duda, a fijar el actual aparato para la luz ultravioleta cuando se haya de usar en el microscopio.

«Discusión sobre el alumbrado del microscopio basándole en ejes ópticos y no en principios empíricos.» Esta discusión, planteada y seguida desde 1905 a 1909 en la Sociedad Real de Microscopía de Londres, dió por resultado determinar el principio óptico que informa a los colectores ingleses que se colocan a continuación del foco de luz.

«Cálculo de varias lentes metoesféricas aplanáticas por sí mismas.» Con estas lentes se consigue un aplanatismo casi total

con una sola lente, evitándose la construcción de sistemas complejos con la consiguiente absorción de la luz. En el laboratorio del autor, en Madrid, cinco de estas lentes de distinta curvatura se hallan funcionando en diversos aparatos.

«Examen óptico de vidrios para objetivos.» Este trabajo, encargado por un grupo de fabricantes americanos de vidrios de óptica, ha necesitado el empleo de ciertos aparatos que, proyectados por el Sr. Orueta y construídos por la Casa R. Fues, de Berlín-Steglitz, han funcionado con éxito completo.

Informe sobre objetivos y condensadores y lentes ópticos.» Algunas casas constructoras de microscopios y otros aparatos de óptica suelen enviar al Sr. Orueta sus productos para que informe acerca de ellos. Varios de estos informes se han publicado en las más afamadas revistas inglesas y alemanas.

La mayor parte de los trabajos citados necesitaban para su realización disponer de un microscopio capaz de recibir cuantos objetivos, condensadores oculares y demás elementos ópticos se fabrican para las investigaciones micrográficas; aparato nuevo que el Sr. Orueta proyectó, habiendo sido admirablemente construído bajo la dirección de nuestro compañero el Sr. Torres Quevedo en el taller que éste dirige por cuenta del Estado, y el microscopio en cuestión, completamente terminado, funciona perfectamente.

También se debe al Sr. Orueta la idea de una platina universal, basada en el principio de Fedorow, pero con modificaciones en su totalidad, añadiéndola un giro más y disponiendo sus círculos de modo distinto. Construída también en los talleres del Sr. Torres Quevedo, ha resultado, como era de esperar, de gran utilidad para el estudio micrográfico de los minerales, pues la exactitud de sus divisiones es absoluta.

Señalemos antes de concluir otras publicaciones del señor Orueta, alguna ya citada antes :

Informe sobre los terremotos ocurridos en el Sur de España en diciembre de 1884 y enero de 1885, publicado por la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Málaga en un folleto de 53 páginas con 20 láminas y un mapa:

Indicaciones para el estudio de los infusores.» Vió la luz en el *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, números 319, 320, 321 y 322. Se publicó de mayo a julio de 1890.

«Some Notes on Photo-Micrography.» *The Illustrated Annual of Micrography*, London 1900.

«Descripción de algunas esponjas del Cantábrico.» Apareció en el *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, 1900-1901.

Programa de Electrotécnica. Serie de 24 lecciones que constituyen el curso de Electrotécnica de la Escuela de Auxiliares de Minas, Hornos y Máquinas de Asturias, Mieres 1892.

Curso de Electrotécnica con arreglo al programa anterior, tomo de 268 páginas y 216 figuras, Mieres 1902.

«Apparatus for Microphotomicrography with the Microscope standing in any Position especially in Inclined Position», *Journal of the Royal Microscopical-Society*, 1911, Londres. Este artículo ha sido traducido al español y publicado en la *Revista Minera* (enero 1912) y en el *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural* (abril 1914).

«Nueva lámpara eléctrica para microtopografía y proyección». Vió la luz en la *Revista Minera*, números del 8 y 16 de diciembre de 1911.

«La luz ultravioleta y sus aplicaciones en microscopía.» Con un resumen de los trabajos hechos en el laboratorio del autor durante el año 1911 y primer semestre de 1912. *Revista de la*

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid 1913.

«Microtopografía y sus aplicaciones en Histología e Historia Natural.» El autor dió con este título una serie de conferencias en la Facultad de Medicina y en el Museo de Ciencias Naturales en 1911.

«Las obras sobre visión microscópica de D. Joaquín María Castellarnau.» Se halla este trabajo en el *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural* de mayo de 1912.

«Reproducción microfotográfica de las rocas con sus colores por medio de las placas autóchromas.» *Boletín del Instituto Geológico de España*, 1913.

«Aparato para la observación microscópica directa, dibujo y microfotografía con luz monocromática.» Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias. Granada 1911-1912.

«Resultado práctico del estudio petrográfico de la Serranía de Ronda.» Instituto de Ingenieros civiles, 1911.

«Instalaciones de microscopías del ingeniero de Minas don Domingo de Orueta en Gijón.» *Revista Minera*, marzo 1911.

«La mina de grafito que pertenece al Estado, en la Serranía de Ronda.» Nota sobre su historia, estado y riqueza. *Boletín de Minas y Metalurgia del Ministerio de Fomento*, 1917.

Estudio geológico y petrográfico de la Serranía de Ronda. Un tomo de 567 páginas, 16 láminas en color y cuatro mapas, que forma parte de las Memorias del Instituto Geológico.

«Microscopios mineralógicos.» Trabajo dado a luz en la *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 1917.

Aun podrían citarse otras obras, pero son más que suficientes las apuntadas para el objeto actual.

Bien fácil es deducir de la relación que antecede cuán gran-

de y general es la competencia científica del Sr. Orueta, sobresaliendo en todo lo referente a petrografía y microscopía, y ello explica que la «Historia del microscopio y su importancia en el estudio de las Ciencias naturales» sea el tema del muy documentado y brillantísimo Discurso que acaba de leerse, el cual, después de aplaudido por auditorio tan competente como el aquí congregado, queda sólo ser estimado por mí como verdaderamente digno del autor que lo presenta y de la Academia que recibe la ofrenda.

Por ello, en nombre de la misma me congratulo, felicito una y otra vez al autor, y me aparto para que éste reciba en la Presidencia la Medalla que le corresponde.