

adivinó ó le descubrió por sí intitulándole *cálculo diferencial* (1684). Este cálculo, mucho mas fácil y practicable que el *integral* su opuesto, es uno de los descubrimientos mas grandes; generalizó los métodos para pasar de los problemas relativos á las cantidades finitas, á las propiedades mas ocultas, las cuales por su esencia comprenden el principio de los límites; determinó que la cantidad en todos los casos está circunscrita entre ciertos límites, y enseñó el modo de expresarla. Leibnitz y Newton conocian lo que se debian mutuamente en el descubrimiento de las fluxiones ó del cálculo diferencial, pero sus respectivos partidarios, gente siempre exagerada, y los periodistas amigos de disputas, turbaron aquella armonía con iniciar la cuestion de prioridad. Estalló, pues, un incendio, atizado por el orgullo nacional y por el científico (1).

Un gran medio de que adelantáran los nuevos cálculos fueron los problemas que sus defensores se proponian várias veces, puramente analíticos ó mecánico-geométricos. De esta manera Bernoulli presentó los de la curva catenaria, los de la línea de mas rápido descenso, de las trayectorias ortógonas, de las tautócronas en un medio resistente; y las soluciones y la prioridad de estos problemas llevaban la disputa al terreno de la ciencia positiva; efectos deplorables, aunque se consiguieron soluciones importantes ó métodos mejores para el incremento del nuevo análisis.

Otros se oponian tenazmente á esto por cariño á lo antiguo, exponiendo casos parciales que conducian á resultados inexactos. Juan y Jacobo Bernoulli se aplicaron á difundir las ideas de Leibnitz; de modo que fué un triunfo cuando en 1690 el marques del Hópital publicó el *Análisis de los infinitamente pequeños*.

Así como despues de Descartes se habia reducido la geometría al dominio del cálculo, ahora tenia el medio de considerar las funciones de todos géneros, para investigar con el cálculo todas sus formas y sus modificaciones, método que despues recibió el nombre de diferencial, y que era á los precedentes lo que el vapor á las demas fuerzas motrices.

**Física.** Con esta ayuda adelantó la física ya con tanta gloria encaminada. El padre Castelli, de Brescia, creó la ciencia del movimiento de las aguas, la cual debia ensayar el dominico Guillermo de Bolonia, que por su *Tratado fisico-matemático de la naturaleza de los rios* fué nombrado

(1) En la cuestion entre Newton y Leibnitz, tomó parte un Italiano, el Paduano y abate Antonio Conti, uno de aquellos ingenios vastísimos que por abarcarlo todo en nada se perfeccionan. Se hallaba en Inglaterra cuando Leibnitz le dirigió una carta acusando de parcial el juicio formado por la Sociedad Real. Conti se la mostró á Newton, que se manifestó muy contento de que la cuestion se sometiese de nuevo á examen; mas examinando bien las cartas, halló que algunas por anterioridad eximian á Newton de toda sospecha de plagio. Esto desagradó á Leibnitz y desagradó á Newton, que descubrió que todos aquellos juicios de la Academia habian sido guiados por su mano, y que él habia escogido las cartas que convenia publicar en el *Commercium epistolicum*, y puesto las notas.

superintendente general de las aguas del departamento de Bolonia, crándose para él una cátedra de hidrometría.

Francisco Lana-Terzi, jesuita de Brescia, se dedicó por gusto al estudio de las cosas naturales; pero mas por capricho que por profundizar la ciencia. Abandonó la enseñanza de las matemáticas á causa de su poca salud; examinó la constitucion de los montes patrios (1) y la cristalización, si bien con teorías que mas adelante fueron desechadas; en su patria fundó la Academia de los filoesóuticos, y en su *Magisterium naturæ et artis* propuso muchas cosas nuevas, como enseñar á hablar y escribir á los sordos y ciegos de nacimiento, hacer relojes perpetuos, autómatas, extraer la raíz cuadrada de un número con solo hacer sumas y restas, y otra infinidad de secretos mas vagos que fundados. Inventó un globo aereostático hecho de láminas metálicas, al cual hizo mas ligero extrayéndole el aire, y se quejaba de que le faltasen los medios de efectuar estos y otros experimentos. Con esto se anticipó á Montgolfier, así como al Inglés Tull en la invencion de una máquina para sembrar.

El Parisiense Guillermo Amontons, lumbrera de la Academia de Ciencias, á fuerza de experimentos mejoró las invenciones de los termómetros, barómetros é higrometros, dió una teoría del frotamiento, y un reloj para las naves. La construcción de las naves, de los arados, de las prensas de imprenta y en general de las máquinas fueron el objeto principal de su estudio, al cual habia sido llevado por el empeño que tenia en buscar el movimiento continuo y por su sordera. El jesuita Pablo de Hoste nos dejó el *Tratado de la construcción de las naves*, y el *Compendio de matemáticas indispensables para un oficial*, que fueron los libros mas usados para formar marinos.

Cristiano Huygens, de la Haya, fué el primero que demostró la relacion que existe entre la longitud del péndulo y la duracion de las vibraciones; y buscando en qué curva un cuerpo suspendido describiria iguales arcos con sus vibraciones, determinó la cicloide, y construyó un péndulo que tambien en los grandes arcos guardase igualdad de tiempo en sus movimientos. Por medio de sus observaciones halló tambien el centro de oscilacion, el cual se introdujo en las mas extensas especulaciones de la mecánica analítica. Consideró tambien un cuerpo atraído por dos fuerzas que obran en distinto sentido. Cuando (1668) la Sociedad Real llamó la atencion de sus individuos acerca del choque de los cuerpos, Huygens, Wallis y Wren determinaron sus leyes, esto es, la igualdad de accion y de variacion, y que la misma fuerza comunica una velocidad, que está en razon inversa de la masa de los cuerpos.

Leibnitz prestó un gran servicio á la mecánica teórica, introduciendo el principio de la *razon*

(1) *Saggio della storia natural della provincia di Brescia.*

suficiente, á pesar de que le desacreditó exagerándole, y el de la *ley de continuidad*, segun el cual nada pasa de un estado á otro sin atravesar todos los estados intermedios; y últimamente asentó que la fuerza de un cuerpo en movimiento no está en proporcion de su velocidad, sino del cuadrado de esta velocidad. Esto último sufrió muchas contradicciones, y aunque parece enorme la diferencia, se obtenia efectivamente el mismo resultado, variando en vez de la unidad de tiempo otro cualquier espacio.

El mismo Leibnitz habia llamado *fuerza muerta* á la simple presion, y *viva* al movimiento; de aquí Juan Bernoulli dedujo la conservacion de las fuerzas vivas, esto es, el equilibrio para todos los cambios graduales de cada sistema de cuerpos unidos, en la suma de los productos de sus masas por los cuadrados de las velocidades; teorema que abrevió la resolucion de muchos problemas; y que su hijo Daniel adoptó como base para su *Hidrodinámica* (1738).

En la óptica, todo cuanto no habian podido conseguir el Árabe Al-Hazen, el Polaco Wittellion, y Kepler, lo consiguió Villebrond Snell, de Leiden, autor de la ley de refraccion, que dió á conocer la desviacion del rayo refractado hácia la perpendicular y el ángulo de incidencia, en la relacion de una razon constante entre los senos de los ángulos formados por los rayos incidentes y refractados. Mas no habiéndose expresado Snell en el clarísimo lenguaje de la trigonometría, pudo Descartes apropiarse este descubrimiento en su *Dióptrica* (1637), deduciendo de aquí la ley de la hipótesis arbitraria que la luz camina con mas rapidez á medida que el medio que atraviesa es mas denso. Impugnó esta doctrina Fermat, fundándose él tambien en una hipótesis, la de la mínima accion, que no obstante se confirmó con ulteriores investigaciones; y suponiendo que la luz se retrasa por la densidad de los medios, dedujo que la refraccion sigue la ley de los senos.

El Danes Erasmo Bartholin observó que mirado un cuerpo pequeño al traves de un cristal de espato de Islandia, se veian dos imágenes; y Huygens, estudiando este fenómeno, determinó las leyes de la doble refraccion (1). La interesante teoría de la luz que habia publicado (2) para explicar los sencillos fenómenos ópticos entonces conocidos, una vez en mano de los filósofos sucesivos, bastó para explicar igualmente los mas complicados. Suponia Huygens un éter sutilísimo difundido por todo el espacio y en todos los cuerpos, estando mas condensado en los mas densos; sus ondulaciones se propagaban en diversas direcciones, siguiendo el impulso comunicado por alguna

(1) Á esta observacion se debe el que en nuestros dias se haya hecho el gran descubrimiento de la polarizacion de la luz.  
(2) *Traité de la lumière*, 1690.

accion particular de los cuerpos luminosos; cuyas ondulaciones, propagadas desde el centro á la circunferencia, como las que hace el agua cuando se tira en ella una piedra, al llegar á nuestros ojos producen la sensacion de la vision. Fácil le fué explicar con esto la reflexion y la refraccion, así sencilla como doble, y la razon constante entre los ángulos de incidencia y de refraccion en el mismo medio: hipótesis que los hechos debian confirmar, pero que permanece incompleta, hasta que no se explique por qué las ondulaciones del fluido luminoso son esferoidales en los cristales, y esféricas en los otros casos.

El jesuita Francisco Grimaldi publicó en Bolonia el año 1665 várias observaciones ópticas de grande importancia, entré ellas las de la inflexion de la luz, y la doble refraccion producida al caer el rayo solar sobre el prisma; problema que no excitó la curiosidad, y que él mismo explicaba por una condensacion y expansion alternadas, en vez de explicarle por la refrangibilidad de la luz.

Veintiseis años ántes que se publicase la *Óptica* de Newton, José Antonio Barbari, de Savignano, publicaba el *Íris, obra fisico-matemática* (Bolonia, 1678), en la que exponia con toda claridad la opinion de Aristóteles acerca de este fenómeno, y declarándola insuficiente, trataba de examinar: 1º si los colores del primero y segundo arco iris se hallan cambiados; 2º la figura constante y perfectamente circular de los dos arcos, y su posicion respecto del sol; y 3º cómo se ve mayor parte á medida que el sol se eleva sobre el horizonte; sosteniendo que para la formacion del arco iris no basta la nube aunque permanezca sin deshacerse, sino que es necesario que deshecha en pequeñas gotas sea herida de frente por el sol; lo que prueba por el efecto causado por las lluvias artificiales y de las fuentes, y por el de las esferas de cristal llenas de agua, puestas al sol, en las cuales, hasta la declinacion de 42º del rayo visual sobre la línea que pasa por el centro solar, se ven distintamente los colores del iris, mientras que en la inclinacion de los 53º aparecen invertidos. Todo esto lo demuestra haciendo gran uso de la geometría y trigonometría, y explica muy claramente (en las páginas 28 y 29) la refraccion, y cómo la diversa inclinacion que toman los rayos por esta causa, produce los colores. Si esta obra es poco conocida de los extranjeros, nosotros tenemos la culpa, atendido que ni aun la han recordado los compatriotas. Despues murió su autor en olor de santidad.

Las persecuciones no retardaron el triunfo del verdadero sistema del mundo, si bien algunos se creian obligados á respetar la opinion que se tenia por mas conforme á los sentimientos de la Iglesia. Con este fin algunos adaptaban las observaciones á la Escritura, como lo habia hecho Tycho-Brahe, y otros la Escritura á las observaciones, como Foscarini. El jesuita de

Astro-  
nomía.



Ferrara Riccioli en su *Almagesto* recogió cuanto habían escrito los astrónomos hasta su época, y trató de dar un nuevo sistema que no tuviese aquel inconveniente, ni tampoco fuera una imitación de las leyes de Kepler. Otro jesuita francés, Fabre, gran penitenciario en Roma, aseguró que, una vez demostrado el movimiento de la tierra, la Iglesia debería haber explicado de qué manera se habían de entender figuradamente los pasajes de la Escritura; esto bastó para que fuese procesado por el Santo Oficio, que le tuvo cincuenta días reducido á prisión.

Descartes habiendo dado á la geometría grandísima generalidad, se inclinó á creer que el sistema del mundo y la filosofía de la mecánica pueden fundarse en una teoría, deducida de unos pocos axiomas establecidos de antemano, y pretendió hallar estos axiomas en algunas ideas metafísicas de la Divinidad, partiendo de las cuales deducía las leyes de la naturaleza, y por qué las cosas están constituidas del modo que nosotros las vemos. Pero mientras pretendía determinar por medio de una serie de consecuencias las modificaciones posibles de los agentes materiales, parecía contradecirse aceptando el experimento y la inducción, si bien es verdad sólo como auxilios subordinados á su teoría. Fué sin embargo el primero que trató de explicar y relacionar los movimientos planetarios por medio de principios físicos, que sin embargo de estar mezclados con suposiciones gratuitas, no carecían de carácter filosófico.

Conocidas las ideas del movimiento, de la materia y de sus atributos, esto es, la extensión, la impenetrabilidad y la inercia, restaba raciocinar sobre ello *à priori*. El espacio está ocupado de materia, cuyas partes todas se hallan dotadas de movimiento en direcciones infinitamente variadas, y de cuyas combinaciones nacen un movimiento circular y la fuerza centrífuga; de tal modo que la materia se distribuye en una infinidad de torbellinos que se limitan y circunscriben alternativamente. En pequeño la materia más sutil constituye el torbellino en el cual se equilibran los cuerpos más densos, que creciendo poco á poco, la tierra y los planetas son centro de un torbellino en el que la materia más sutil es empujada hacia el centro, mientras que la fuerza centrífuga la rechaza; estos mismos planetas giran circularmente en el torbellino del sistema solar con las mismas fuerzas.

Kepler había descubierto ya las leyes del movimiento de los planetas con las que el sistema de Descartes no estaba en conformidad; asegurando además que las órbitas eran circulares, precisamente en el momento que se demostraba que no lo eran. Pero aunque fundase su doctrina en postulados imaginarios, y no explicase los hechos, esta hipótesis se recibió con idolatría, atendiendo á que hablaba á la imaginación y á los sentidos, habiendo visto cada uno los efectos del torbellino en el aire y en el agua, y pudiendo por consiguiente imaginarse una cosa parecida en el movimiento de los planetas

al rededor del sol. Los hombres piadosos vieron con gusto aquella relación inmediata entre la naturaleza y la Divinidad; en las escuelas pareció muy oportuno sustituirle al gastado sistema de Aristóteles, tanto más cuanto que el lenguaje metafísico de sus especulaciones prestaba argumentos á las disputas escolásticas.

Pedro Gassendi, de Chantersier, partidario de Galileo, que sostenía el sistema copernicano, y puso de manifiesto la analogía que existe entre las leyes del movimiento demostradas por los mecánicos y las del movimiento de la tierra, fué el primero que observó (1631) el tránsito de un planeta, Mercurio, por el disco del sol, y anunciado por Kepler, que murió antes que este hecho demostrase la elipticidad de las órbitas; después, en el año 1639, se examinó el paso de Venus. Por esta razón las leyes de Kepler se acreditaban entre los astrónomos, que admitiendo que las órbitas eran elípticas, trataban sin embargo de referir el movimiento á un centro, no habiendo comprendido todavía á Kepler lo bastante, para conocer que la ley que había descubierto era la verdadera ley de la naturaleza; un movimiento al rededor del foco en que se halla el sol, uniforme, no en la velocidad lineal, sino proporcional á las que describe el radio vector.

Entretanto el conocimiento de los astros progresaba á medida que lo hacían las matemáticas y la mecánica. Huygens entregado á los telescopios, los construía de desmesurada magnitud, y con vidrios objetivos hasta de ciento treinta pies de distancia focal (1), con cuya prolongación, además del aumento, se disminuía la confusión de los varios colores de la imagen en que se descomponía la luz. Huygens aplicando el micrómetro al telescopio, y Picard sustituyendo á las miras sencillas el telescopio de cuadrante, fortalecieron el ojo del observador para los descubrimientos; dando además el primero la medida exacta del tiempo. Modificando el principio teórico sobre el que está fundado el telescopio de refracción, pudo inventarse el de reflexión que quizá es más sencillo, pero había necesidad de otras combinaciones para usarle, y las llevó á cabo el Escocés Jacobo Gregory, que enriqueció la óptica con otra porción de observaciones. El Danés Oloa Rømer parece fué el primero que en 1690 concibió la idea del antejo de tránsito.

Huygens descubrió que la figura anómala de Saturno dependía del anillo que le rodea; Louville había indicado la precesión de los equinoccios ya desde 1619: Juan Bayer dió un nombre á cada estrella, distinguiéndolas con letras griegas ó latinas; Mercator en sus *Instituciones astronómicas* (1676) adoptó el cálculo decimal, y Juan Hevelio, de Danzick, delineó la superficie de la luna, y además de la libración de esta en

(1) Algunos dicen que su contemporáneo Adrian Anzout (1691) los construyó de seiscientos.

latitud, observada por Galileo, descubrió también la libración en longitud.

El establecimiento de los observatorios, que por su coste no podían llevar á cabo los particulares, ayudó mucho á estas observaciones, enriqueciéndolas con una serie de hechos para los cuales no basta la vida de un hombre; y tomó un carácter oficial cuando importó mucho la exactitud de las observaciones astronómicas. El observatorio establecido por Tycho Brahe fué miserablemente abandonado; pero en 1667 se fundó el nacional de París, y en 1675 el de Greenwich, en el cual á pesar del clima se hicieron más observaciones sistemáticas que en todo el resto de Europa. Nombrado para dirigirla Juan Flamsteed, autor de dos obras 1712. *Ecuación del tiempo y Teoría lunar*, trabajó mucho y compiló un atlas celeste mucho mejor que el de Bayer, señalando la situación de tres mil estrellas, y principalmente la de las del zodiaco.

El Inglés Edmundo Halley que le sucedió, introdujo muchísimas mejoras prácticas, y perfeccionó las tablas de la luna, respecto á la cual hizo un importantísimo descubrimiento, puesto que creyéndose hasta entonces que los movimientos de los planetas eran uniformes, halló que en este astró eran lentamente acelerados. Observando el raro fenómeno del tránsito de Mercurio por el sol, tuvo la feliz ocurrencia de aprovecharse de él para determinar las paralajes de los planetas. Siendo aun joven estuvo un año en Santa Elena (1676), y á pesar del malísimo clima estudió los astros del hemisferio meridional. Después partió inmediatamente para Danzick, con objeto de discurrir con Helvecio acerca de su descubrimiento; llegó á esta ciudad el 26 de mayo de 1679, y sin más saludos ni discursos se pusieron á observar en unión como si se conocieran de mucho tiempo; y efectivamente se habían encontrado en la patria común, hacia la que dirigían continuamente sus miradas.

Isaac Newton, el hombre más célebre de esta época, así como Galileo lo había sido de la precedente, maduró y cogió el fruto de los anteriores descubrimientos. Nació en Woolstorphe el día que este murió, y desde niño se aplicó en perfeccionar hasta los juguetes pueriles; después estudió los elementos de Euclides, la geometría de Descartes, la aritmética de los infinitos de Wallis y la óptica de Kepler; estudios que su imaginación hubiera sabido reducir á la uniformidad del método que les faltaba. Pronto se extendió su fama y fué nombrado presidente de la Academia Real, inspector general de las casas de moneda; dotado de un carácter amable y de un alma tranquila á pesar de sus profundas y variadas ocupaciones, vivió ochenta y cinco años rodeado de la mayor gloria, y por último fué sepultado en Westminster al lado de los reyes.

Introdujo muchas innovaciones en la mecánica, en la óptica y en la astronomía, y reformó

cuantas ciencias saludó. En la química multiplicó los experimentos, y tal vez fué el primero que indicó la atracción electiva; pero estudió principalmente el calor y las variaciones de temperatura que se producen en los cuerpos al pasar al estado sólido, líquido ó aeriforme, con lo que pudo señalar puntos fijos para la escala del termómetro. También dió origen á las dos divisiones principales de la química, estableciendo una graduación metódica del termómetro, por medio de la cual podían compararse las observaciones en cualquier parte, é indicando la naturaleza de la afinidad consistente en la atracción recíproca de las moléculas, rechazada la hipótesis gratuita de puntos, anillos y ganchos, por medio de los cuales se creía estaban unidos los elementos.

En la óptica, estudiando atentamente el prisma descomponente y los efectos de las lentes, dedujo que la luz del sol no era homogénea, sino compuesta de un sinnúmero de rayos primarios diversamente refrangibles, cuya refrangibilidad es inherente al rayo mismo, cualquiera que sea la modificación que experimente (1). Igualmente descubrió la reflexibilidad de la luz, por la cual los rayos son más ó menos reflexibles y dan diversos colores á los objetos según varía el grado de reflexión. También halló la difracción ó inflexión de la luz descubierta ya por Grimaldi.

Conocida la naturaleza de la luz, hizo muchas aplicaciones prácticas de ella. Para evitar las aberraciones producidas por la refracción, inventó los telescopios de reflexión (2) no sujetos á límites en su perfeccionamiento, mejorando tanto la construcción de los de Gregory, que con su telescopio de solo seis pulgadas de longitud se veían los objetos mayores y más claramente que con el de aquel que era de seis pies. Bajo un principio análogo construyó un microscopio, y expuso varias observaciones acerca de la composición y descomposición de la luz. Examinó cuidadosamente los colores que se presentan en la superficie del aire y de los líquidos; formó la *escala* que lleva su nombre y dió la verdadera explicación del arco iris. Para resolver el difícilísimo problema de la visión, supuso que los objetos luminosos irradian en todos sentidos partículas imperceptibles sometidas á la atracción y repulsión; de modo que también los fenómenos lumínicos pueden explicarse por medio de las leyes de la dinámica. Huygens suponía por el contrario que la luz se producía como el sonido por un movimiento vibratorio comunicado por el

(1) Guillermo Herschell demostró y H. Engelsted experimentó después, que en un rayo solar existen rayos calorosos que no son luminosos, y rayos luminosos que no son calorosos.

(2) Creía que con el telescopio de refracción no se podrían evitar nunca los colores prismáticos; pero fué una de las pocas cosas en que se engañó, puesto que después de los raciocinios del Sueco Klingestierna, Dollond inventó un vidrio particular (*flintglass*), con el cual se impide la dispersión de los rayos sin dañar la refracción; de aquí es que los telescopios de refracción se perfeccionasen tanto, y el que hoy se haya desterrado completamente el uso de los de reflexión.