

**3. Teorías sobre la composición de la materia durante  
el Renacimiento, Barroco e Ilustración**

*Félix Fernández Alonso*

*Joaquín Fernández García*

*Juan Facundo Contesti*

### **3. Teorías sobre la composición de la materia durante el Renacimiento, Barroco e Ilustración**

Trataremos de comprimir al máximo este capítulo que abarca cuatro siglos: XV, XVI, XVII a XVIII, ciñéndonos en todo lo posible al título que encabeza este trabajo.

#### **I. RENACIMIENTO (siglos XV-XVI)**

Para recordar lo que fue el Renacimiento en la historia de la cultura humana, existen muy buenos textos, de autores españoles, cuya lectura recomendamos<sup>1,2</sup>. Trataremos en cada uno de los períodos históricos que aquí comentamos, las siguientes cuestiones: Contexto histórico general, progreso científico general y las doctrinas o teorías de la estructura de la materia.

#### **1. El mundo renacentista**

Al final de la Edad Media, entra en crisis casi todo. Hay una profunda crisis de la teología y de esta crisis emergería la mística; el poder imperial se rompe y comienzan a surgir las nacionalidades. Comienza a aparecer la preocupación por el Estado y emergen los grandes teóricos del mismo (Maquiavelo, Hobbes y otros); y, aparece el humanismo que se extiende rápidamente, llegando a Occidente los libros griegos y latinos y la devoción por la Antigüedad Clásica; se ataca la Escolástica y, de acuerdo con la nueva sensibilidad se aspira a una reforma re-

---

1 Marias, J.: Historia de la Filosofía. Alianza Editorial. Madrid 2008. Págs. 190-236.

2 Laín Entralgo, P.: Historia de la Medicina. Edit. Masson. Barcelona 1978. Págs. 245-261.



Agrippa von Nettesheim, personaje público bien conocido y el más famoso mago del Renacimiento (AJFG/REA).

ligiosa que hará más tarde Martín Lutero; el interés por la naturaleza trasciende y se hace universal, tratando de imponer este carácter a todo (ciencia natural, derecho natural, religión natural, moral natural).

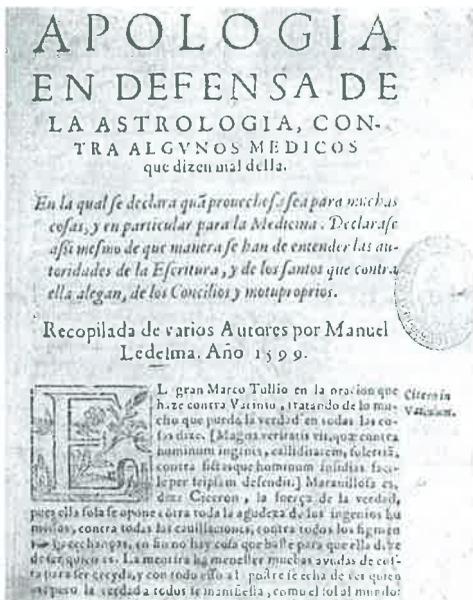
El cambio, es profundo: se descubren nuevos mundos más allá del océano conocido; el gótico va desapareciendo y aparecen nuevas formas artísticas; surgen las lenguas vulgares, etc.; y, se cultiva, bastante, la filosofía medieval y culmina con Descartes.

## 2. La Revolución científica

Se denomina, en la actualidad *revolución científica* al periodo de tiempo que transcurre aproximadamente, entre la fecha de publicación del *De Revolutionibus* de Nicolás Copérnico en 1543, hasta la obra de Isaac Newton, cuyos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* fueron publicados por primera vez en 1687<sup>3</sup>.

3 Reale, G., Antseri, D.: Historia del Pensamiento Filosófico y Científico (3 tomos). Edit. Herden. Barcelona 2005, Tomo 2, págs. 171-184.





Arriba: Diagrama astronómico relacionado con la Alquimia. Tomado de Thomas Norton, "Ordinall of Alchimy". Londres 1652 (AJFG/RFA).

Abajo: Primera página de "Apología en defensa de la Astrología" de Manuel Ledesma. Valencia 1599. Biblioteca de la Real Academia Nacional de Medicina. Madrid (AJFG/RFA):

Entre estas fechas, nace la ciencia natural moderna; partiendo de la metafísica nominalista, en los siglos XVI y XVII se constituye una ciencia natural que difiere esencialmente de la aristotélica y medieval en dos puntos esenciales: la idea de naturaleza y el método físico. Esto es importante; porque, desde Copérnico a Newton se elabora la nueva física que ha llegado con un admirable cuerpo de doctrina hasta nuestros días en que sufre una radical transformación en manos de varios científicos: Einstein formulando la teoría de la relatividad; Plank, fundador de mecánica cuántica; y varios físicos estableciendo las bases de la mecánica ondulatoria y de la física nuclear (Heisenberg, Schrödinger, Broglie, etc.).

Sintetizando las peculiaridades de esta revolución científica, señalemos sus aspectos más importantes especialmente dos que podríamos epigrafiar así: Ciencia y técnica por un lado y magia y hermetismo por otro.

#### A. Ciencia y Técnica

El científico renacentista no es ni un filósofo medieval, ni un mago, ni un profesor universitario. El nuevo científico ya no es un mago poseedor de un saber privado, solo para iniciados; ni de un profesor universitario que comenta e interpreta textos del pasado; por el contrario, crea una forma de saber público, controlable y progresivo, una forma de saber que para resultar válida necesita un control continuo que proceda de la praxis; es decir: la revolución científica crea al científico experimental moderno, cuya experiencia –valga la redundancia–, es el experimento, que cada vez se vuelve más riguroso gracias al empleo de nuevos instrumentos más exactos en sus medidas.

La revolución científica supuso la dignificación de las *artes mecánicas*. Antes del período que estamos considerando *las artes liberales*, presididas por el trabajo intelectual se consideraban muy superiores a las manuales o mecánicas. En el nuevo saber la unión entre teoría y práctica son la misma cosa. Y, por encima de cualquier discusión teórica sobre la importancia del científico o del artesano en la revolución científica, cabe ofrecer algunos datos. En efecto, a principios del siglo XVI la instrumentación se reducía a una serie de aparatos muy rudimentarios relacionados con la navegación y la topografía (compás, astrolabios), palancas, poleas y otros afines (balanzas, relojes mecánicos, hornos); a partir del siglo XVII al compás del desarrollo de la ciencia aparece, de manera casi imprevista una fase de rápida invención: telescopio (Galileo); microscopio (Malpighai); péndulo (Huygens); termómetro (Castellá); barómetro (Torricelli); bomba neumática (Boyle), etc. Pero lo importante, por encima de la enumeración de instrumentos,



Portada del libro *Opera médico-chymica* de Angelo Sala (1560-1640). Su título ya hace referencia a cambios de mentalidad en materia médica. Real Academia Nacional de Medicina, Madrid (AJFG/REA).

es afirmar que los instrumentos se convierten en parte integrante del saber científico<sup>4</sup>.

### B. Magia y hermetismo

Los saberes antiguos y medievales estaban cuajados de magia y hermetismo. Estos saberes esotéricos fueron desapareciendo progresivamente con el progreso de la ciencia experimental. Y, en un principio, ciencia y esoterismo convivieron sin mayores traumas; sabido es que Copérnico, además de astrónomo era médico y que practicó la medicina por medio de la teoría de los influjos astrales; y también se sabe que Tycho Brahe, maestro de Kepler, estaba convencido del influjo que los astros tenían sobre la marcha de las cosas y sobre los acontecimientos humanos. La nueva idea del saber, se abrió camino, con lentitud y esfuerzo en un mundo residual de magia y hermetismo.

Sin lugar a dudas Paracelso fue la figura de mago más importante que existió en la época. Él creía que la alquimia era la ciencia de la transformación, no para convertir cualquier mineral en oro, sino los metales groseros que se encuentran en la naturaleza en productos acabados que resultan útiles para la humanidad.

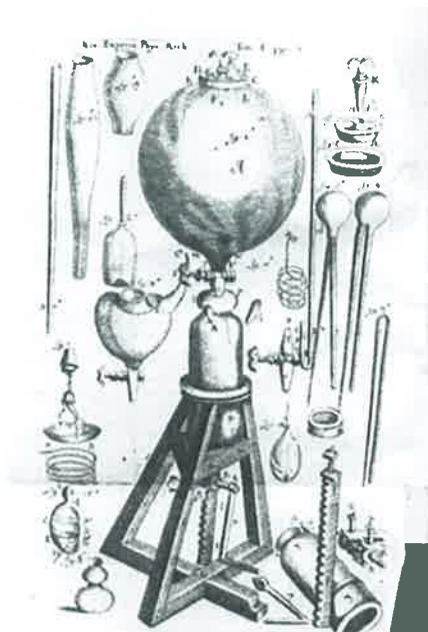
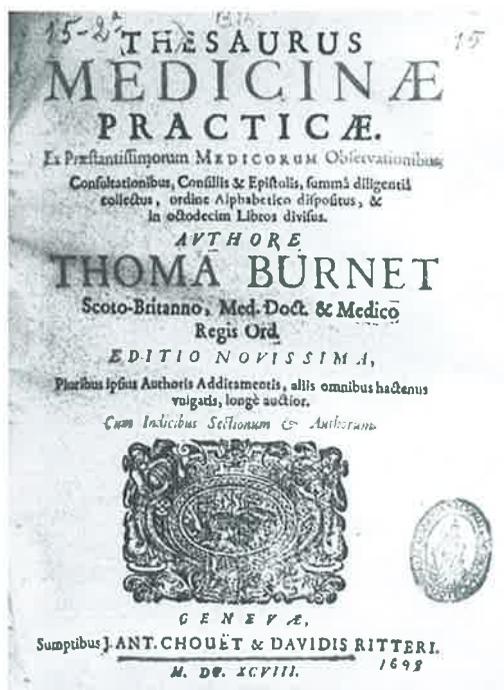
Otros ejemplos de coexistencia del pensamiento científico y mágico fueron los italianos Fracastoro, Cardano y Della Porta, los dos primeros médicos y el último óptico, verdadero paradigma de lo que eran la ciencia y la superstición en aquel momento.

### 3. Ideas sobre la estructura de la materia

Poco aporta la ciencia renacentista al conocimiento de la estructura de la materia. Los científicos que inauguran la Edad Moderna son fundamentalmente astrónomos (Nicolás Copérnico, Juan Kepler, Galileo Galilei); después de Galileo, vendrían algunos personajes de interés para nuestro objeto: El francés Gassendi que renovó el atomismo; el inglés Robert Boyle, que da carácter científico a la Química y otros.

En todo caso, conviene recordar algunas cuestiones teóricas que marcaron el rumbo de la ciencia moderna. Para Aristóteles la naturaleza era entendida como *el principio del movimiento*; un ente es natural cuando tiene en sí mismo al

4 Ibidem, págs. 175-182.



Arriba: Portada del *Thesaurus medicinae practicae...* de Thomas Burnet (1635-1715), médico y químico inglés, introductor en Inglaterra del concepto de elemento químico.

Abajo: Una ilustración de su obra. Real Academia Nacional de Medicina, Madrid (AJFG/RFA).

principio de sus movimientos. Desde Guillermo de Ockam, se comienza a pensar que el conocimiento no es conocimiento de cosas sino de *símbolos* y esto nos lleva al pensar matemático; desde Galileo el libro de la naturaleza está escrito en caracteres matemáticos; frente a la física aristotélica y medieval, la física no va a ser ciencia de cosas sino de *variaciones de fenómenos*: algo cuantitativo, capaz de medirse y expresarse matemáticamente. El físico, renuncia a saber las causas y se contenta con una ecuación que le permita medir el curso de los fenómenos. Esta renuncia, la constituye como ciencia positiva<sup>5</sup>.

Pocos datos científicos pueden ofrecerse en este período sobre la estructura de la materia. Pocos, o, ninguno que merezca consideración, al margen de la tradición clásica y medieval, que gravitaban sobre la más pura especulación o el esoterismo, que por otro lado daba poco de sí.

## II. BARROCO (siglo XVII)

Durante el siglo XVII la nueva concepción de la ciencia como ciencia experimental ofrece nuevos frutos, cada vez más desligada del ocultismo y la magia.

La filosofía moderna renace y se constituye en el siglo XVII. En efecto, entre el siglo XIV y el XVII hay un largo silencio en el mundo de la filosofía; desde el siglo XIII al XIV surgieron grandes filósofos: San Buenaventura, Santo Tomás, Escoto, Bacon, Eckehart, Ockam, etc.; y, después de un gran declive hasta el siglo XVII, surgen pensadores importantes como Descartes, Spinoza, Leibnitz, Pascal, etc.

Paralelamente la ciencia sigue hacia adelante pero, recordemos, brevemente, las peculiaridades generales del Barroco.

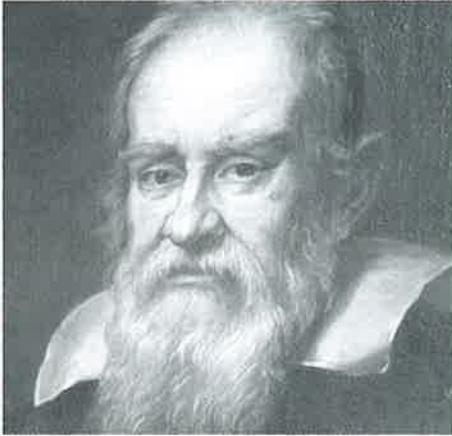
### 1. El mundo del Barroco

El *Barroco* es un periodo en la historia de la cultura occidental que produjo obras en todos los ámbitos del saber y del arte. Desde el punto de vista artístico hay constancia del barroco en la literatura, arquitectura, escultura, pintura y música.

Desde el punto de vista artístico el movimiento nació en el año 1600 y finalizó en el 1750, aproximadamente. Está por tanto, encuadrado entre el Renacimiento y en Neoclásico.

---

<sup>5</sup> Marias, J.: Historia... op. cit. pág. 203.



*Galileo (AJFG/RFA).*



*Bonaventura Cavalieri. (AJFG/RFA).*



*Willebord Snell. (AJFG/RFA).*



*Otto von Guericke. (AJFG/RFA).*



*Marin de Mersenne. (AJFG/RFA).*



*Pascal. (AJFG/RFA).*

Culturalmente, la Iglesia Católica europea no tuvo más remedio que reaccionar contra muchos movimientos revolucionarios que produjeron una nueva ciencia y una religión disidente dentro del propio catolicismo dominante: la reforma protestante.

Pero no sólo ocurrió esto; hubo una decadencia progresiva tanto política como militar; ello trajo consigo una crisis social y económica. La sociedad española del siglo XVII era una sociedad escindida: por un lado, la nobleza y el clero conservaron tierras y privilegios; y, por otro, los campesinos sufrieron con todo su rigor la crisis económica. Los campesinos, ante esta situación emigraron a las ciudades, tratando de solucionar sus problemas; este éxodo, llevó a muchos a la mendicidad, cuando no a la delincuencia.

Desde el punto de vista moral, el barroco europeo ha sido definido como de elevada relajación moral, producto de una sociedad sensualizada y hedonista, en la que eran permitidas las relaciones sexuales ilícitas y la homosexualidad; sociedad relajada en sus costumbres a la que eran incapaces de poner freno la Iglesia y la moral tradicional.

Los caracteres sociales de la cultura del Barroco eran los siguientes: *dirigida*, *masiva*, *urbana* y *conservadora*. Con este tipo de cultura, se pretendía integrar al individuo dentro de los valores del sistema dominante para que tal sistema se mantuviese en pie.

La cosmovisión barroca es triste y pesimista a causa de que el sistema no permite la satisfacción de las aspiraciones de la gente. En consonancia con este cosmovisión el mundo es malo, el hombre un ser débil, inseguro, débil ante el destino y la muerte y sujeto ideal para ser dirigido. De ahí su moral acomodaticia y su comportamiento fácilmente adaptable a cualquier situación<sup>6</sup>.

## 2. La ciencia en el Barroco

Galileo es uno de los científicos más prestigiados del Barroco, quien con sus disputas astronómicas llena un largo período. Pero no son solo las disputas astronómicas lo que ocupa a este sabio. En efecto, el estudio del movimiento y otras cuestiones de mecánica llenan su vida científica.

La generación posterior a Galileo y anterior a Newton, se caracteriza por una visión mecánica de la naturaleza con el abandono definitivo de la física aristotélica que no aceptaba la existencia del vacío. Esta visión mecanicista de la na-

---

6 Maraval, A.: La cultura del Barroco. Análisis de una estructura histórica. Edit. Ariel. Madrid 2002.



*Pierre Gassendi. (AJFG/RFA).*



*Descartes. (AJFG/RFA).*



*Christian Huygens. (AJFG/RFA).*



*Francis Bacon. (AJFG/RFA).*



*Robert Boyle. (AJFG/RFA).*



*Isaac Newton. (AJFG/RFA).*

turalaleza, comienza a formularse en términos matemáticos gracias a los avances habidos en esta disciplina (geometría analítica, cálculo diferencial e integral y cálculo de probabilidades). Destacan como discípulos de Galileo Francesco Bonaventura Cavalieri y Evangelista Torricelli; el primero por sus estudios de óptica; y, el segundo por demostrar la existencia del vacío, el concepto de inercia, etc. Otros científicos importantes de la época fueron Alfonso Borelli, el holandés Willebrord Snell y Otto von Guericke.

La escuela francesa tiene un iniciador en la figura de Marín de Mersenne quien creó un círculo de interesados por la ciencia en el que estaban Pascal, Descartes, Gasendi y Fermat. Este fue el germen de la futura academia de ciencias.

Pierre Gassendi y Pascal fueron acérrimos defensores de la teoría atomista oponiéndose a la teoría aristotélica, aportando Pascal muchas experiencias matemáticas (propiedades de las curvas cónicas, el cicloide y las espirales, teoría de los números, etc.). René Descartes, en su *Discurso del método*, trata sobre su filosofía del conocimiento: la duda metódica; en este sentido, es el máximo representante del racionalismo.

La figura más importante de la época poscartesiana es, sin lugar a dudas el holandés Christian Huygenes, matemático, físico y astrónomo. En importancia, en el desarrollo de la física se le iguala a Descartes y Newton. Sus aportaciones más importantes son el estudio del movimiento del péndulo y la teoría ondulatoria de la luz. La influencia de Descartes y Hygenes, continuada por Leibnitz y sus discípulos, sobre todo por Bernoulli establece la corriente científica predominante en el continente europeo, a diferencia de la desarrollada, sobre todo por Newton y sus seguidores en Inglaterra.

La escuela empirista inglesa se caracteriza por su énfasis en la observación y el experimento. Destacamos en ella a Francis Bacon, Thomas Hobbes, Robert Boyle e Isaac Newton. Francis Bacon en su *Novum Organum* propone olvidar a Aristóteles y crear una nueva ciencia basada en la observación y la experimentación. Robert Hooke, encargado de los experimentos en la Royal Society, defendió una ciencia experimental frente a Aristóteles y propuso la ley de la elasticidad. Son muchos los científicos ingleses, especialmente matemáticos quienes preparan el camino a Newton: James Gregory, Jhon Wallis y otros quienes trabajaron en teoremas de álgebra y primeros intentos de cálculo infinitesimal<sup>7,8</sup>.

7 Fischl, J.: Manual de Historia de la Filosofía. Edit. Herder. Barcelona 1967. Págs. 225.275.

8 Udías Vallina, A.: Historia de la Física. De Arquímedes a Einstein. Edit. Síntesis. Madrid 2004. Págs. 122-141.



*James Gregory. (AJFG/RFA).*



*Robert Hooke. (AJFG/RFA).*



*John Wallis. (AJFG/RFA).*



*Accademia dei Lincei. (AJFG/RFA).*



*Accademia de Ciencias de Berlín. (AJFG/RFA).*



*Real Acad. de Ciencias de Madrid. (AJFG/RFA).*

Tres notas caracterizan a la nueva ciencia: su carácter experimental, la formulación matemática de los experimentos y la aparición de las Academias y Sociedades Científicas. Así como en la Edad Media, el desarrollo científico, favoreció la creación de Universidades, en la Edad Moderna la ciencia va a estar relacionada con nuevas instituciones científicas cuales eran las academias y las sociedades. Veamos, cómo aparecieron las academias desde el punto de vista cronológico:

- Academia dei Lincei. Roma 1603.
- Academia del Cimento. Florencia 1642.
- Royal Society. Londres 1662.
- Academia Royal des Sciences. Paris 1666.
- Academia de Berlín. Berlín 1700.
- Academia de Ciencias. San Petersburgo. 1725.
- Academia de Barcelona. Barcelona 1764.
- Academia de Madrid. Madrid 1834.

Estas Academias no solo promocionaban la comunicación científico oral, sino también su publicación. Se constituyeron, de este modo en las divulgadoras de la ciencia moderna.

Isaac Newton ocupará otro gran periodo de la historia de la ciencia moderna como lo ocupó Galileo. Cuando Newton irrumpía en el mundo de la ciencia la visión aristotélica del mundo se estaba esfumando; en efecto, se propugnaba una composición corpuscular de la materia próxima a la antigua doctrina atomista de Demócrito y Lucrecio; y, la cosmología, se centraba en el sistema copernicano, olvidando, definitivamente la teoría geocéntrica.

Isaac Newton, bien es sabido, fue un genio: matemático, físico, astrónomo y teólogo, destacó, sobre todo, por su interés por las leyes de la mecánica y su teoría de la gravitación, sus estudios de óptica y sus investigaciones matemáticas sobre cálculo infinitesimal. Es considerado como un genio de la humanidad<sup>9</sup>.

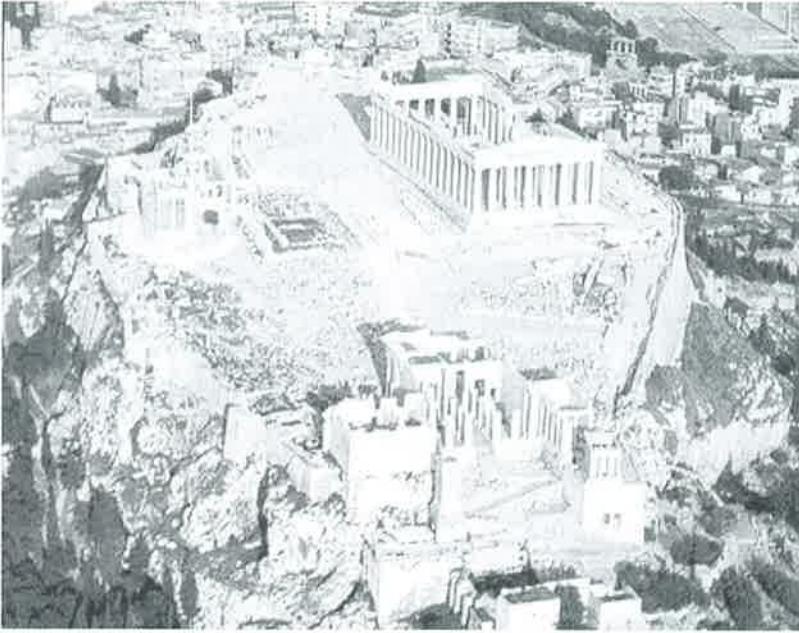
### 3. Concepción sobre la estructura de la materia en el Barroco

Galileo, ocupa como científico maduro el primer tercio del siglo XVII y se declara claramente atomista en estos términos:

“Pienso que es forzoso admitir que una cantidad continua está formada de átomos absolutamente indivisibles, puesto que este método mejor que cualquier otro, nos hace posible evitar muchos intrincados laberintos, como en la cohesión

---

9 Ibidem, págs. 143-159.



*El Liceo de Aristóteles. (AJFG/RFA).*



*La Academia de Platón. (AJFG/RFA).*

en los sólidos, ya mencionada y en la cuestión de la expansión y contracción, sin tener que recurrir a la posible admisión de espacios vacíos en los sólidos que lleva consigo la penetrabilidad de los cuerpos”.

Para abordar el tema de la estructura de la materia durante la Edad Moderna no queda otro remedio que volver a la Antigüedad Clásica, a la Grecia de Platón y Aristóteles ya que con el paso de los siglos, la ciencia no tiene otro remedio que olvidar a Aristóteles si quiere progresar. Por ello, vamos a tratar aquí de dos cuestiones: la teoría que sobre la materia tenían Aristóteles y Platón; sobre todo, Aristóteles.

#### *A. Teorías platónica y aristotélica sobre la estructura de la materia*

Páginas atrás, se comentó aquí la teoría unitaria de los presocráticos sobre la estructura de la materia. Un grupo de ellos, buscaron un principio de unidad material (Tales, Anaximando, Anaxímenes, Anaxágoras); otros, buscaron un principio de unidad en la racionalidad (Parménides, Heráclito, Zenón de Elea, Pitágoras). Y, finalmente, la Escuela atomista con Demócrito a la cabeza. Las teorías de los atomistas fueron refutadas por Aristóteles quien defendía un universo finito, continuo y ordenado y gobernado por Dios. La autoridad intelectual de Aristóteles mantuvo su doctrina hasta la edad moderna. Pero cuando surge la Edad Moderna, los grandes científicos (Galileo, Gasendi, Descartes, Newton, etc.) resurge el atomismo y se le da la espalda a Aristóteles. Dice un historiador de la ciencia al respecto:

“Aunque no se puede comparar el atomismo griego con el de la física moderna, si hay una cierta continuidad entre ambos ya que los atomistas introdujeron ideas como el átomo (última partícula elemental de la materia), el vacío, el azar y el infinito que influyeron en el pensamiento posterior. El atomismo griego era una mezcla de ideas físicas y filosóficas, sin base experimental, que tendrán que depurarse a lo largo del tiempo para llegar al atomismo moderno de la física. A pesar de la enorme distancia temporal y conceptual no puede decirse que éste no tenga nada de ver con aquél”<sup>10</sup>.

Analicemos el pensamiento científico de Platón y Aristóteles.

<sup>10</sup> Ibidem, pág. 57.

a) Platón

A partir del siglo IV a.C. se produce en Grecia una doble sistematización filosófica protagonizada por dos grandes pensadores: Platón y Aristóteles. Ello iba a tener gran transcendencia en la historia de la filosofía occidental.

La influencia de estas dos tradiciones en el desarrollo posterior de la ciencia y en concreto de la física, radica en su distinta actitud ante las matemáticas. Para Platón y sus sucesores las matemáticas son la clave del conocimiento de la realidad, puesto que, en última instancia, está formada por relaciones matemáticas. Por ello, el conocimiento de las matemáticas corresponde al conocimiento del *mundo de las ideas* del que las cosas sensibles son un reflejo. Aristóteles considera que el mundo está regido por la finalidad.

Platón separa dos mundos: *el mundo de las ideas o formas*; el conocimiento de este mundo es directo a través del entendimiento. El segundo mundo, es el *mundo sensible* o *mundo de las experiencias*; el conocimiento de este mundo que captamos a través de los sentidos, es la opinión. Se crea, de este modo, un dualismo rígido entre mente y cuerpo, el pensamiento y la sensibilidad. Por ello, el hombre a través de los sentidos percibe solamente las sombras o apariencias sensibles y no las realidades mismas que son las ideas. Entre las ideas puras se encuentran los números, las formas geométricas y las relaciones matemáticas entre ellos, cuyo conocimiento no precisa de soporte sensible alguno, por lo que son necesariamente verdaderas. De este modo, las matemáticas era la ciencia por excelencia<sup>11</sup>.

En el orden cosmológico para Platón hay una divinidad ordenadora, que establece el orden del universo por contemplación del mundo de las ideas o *arquetipos* celestes y admitiendo el movimiento circular uniforme, a nivel fenomenológico, las relaciones del mundo de las ideas con el mundo sensible, puede expresarse matemáticamente.

Los seguidores de Platón en *La Academia*, insistieron en las teorías platónicas y reforzaron el conocimiento matemático. En el siglo III d.C. se incorporan al sistema platónico elementos aristotélicos y estoicos; este movimiento, denominado *neoplatonismo* tuvo como máximo exponente a Plotino. El neoplatonismo enraizó muy bien en los primeros pensadores cristianos medievales por su creencia en una divinidad creadora. A partir del siglo XIII el neoplatonismo será eclipsado por el aristotelismo; pero con el Renacimiento, Platón volvería a resurgir<sup>12</sup>.

11 Ibidem, págs. 58-60.

12 Fischl, J.: Historia... op. cit. págs. 71-80.



Aurelio, Felipe, Teofrasto Bombast de Hohenheim, médico y alquimista. (AJFG/RFA).

### b) Aristóteles

Discípulo de Platón, funda la Escuela Filosófica denominada Liceo en Atenas. Escribió varios libros relacionados directa o indirectamente en la ciencia y su metodología (*Physica*, *De Coelo*, *Lógica*, etc.).

El definió la *ciencia natural*: como aquella que trata acerca de los cuerpos, sus magnitudes, sus cualidades y movimientos y sobre los principios de tales substancias.

Aristóteles dio gran importancia al concepto de causa (material, formal, eficiente y final), entendiendo por causa formal aquello por lo que algo tiene la forma que tiene, es decir, lo que constituye a algo en lo que realmente es. La causa formal, equivaldría a la idea platónica de las formas, pero que no está en un mundo aparte, sino formando parte de las cosas mismas.

También Aristóteles dio mucha importancia a la causa final, es decir, “*al para qué*”. La ciencia por tanto, para Aristóteles era “*la investigación de las cosas y fenómenos por sus causas*”. De acuerdo con esta definición las matemáticas no eran realmente una ciencia, pasando a un segundo lugar.

La Física aristotélica estudia la composición de las cosas distinguiendo entre substancia y accidentes. La *substancia* es aquello por lo que una cosa es lo que es, mientras que *accidentes* son los que pueden variar sin que varíe, esen-

cialmente. La substancia, a su vez, está formada por *materia prima* y *forma sustancial*.

La materia prima hace que la forma se individualice en una cosa concreta. Por ejemplo, la vaca está formada por la forma sustancial de vaca; y la materia que la hace ser esta vaca concreta, más los accidentes (color, tamaño que pueden variar de una vaca a otra).

El análisis del cambio lo hace Aristóteles a través de los conceptos de *potencia* (lo que puede ser, pero todavía no es) y *acto* (lo ya realizado). El cambio puede ser *sustancial*, si afecta a la substancia (e.g.) la muerte; o, *accidental*, si no afecta a la substancia, como por ejemplo el cambio de tamaño.

Respecto al *movimiento*, conceptos tan importantes para la física, solo se trata de un cambio de lugar. El *movimiento natural* es el de un elemento hacia su lugar natural; por ello, es importante asignar un lugar natural a cada elemento lo que depende de su carácter pesado o ligero. Aristóteles en este asunto sigue la doctrina de los cuatro elementos y rechaza a los atomistas. Así, la tierra que es el elemento más pesado ocupa el lugar más próximo al centro del universo; y a él tiende a ir cuando es desplazado; agua, aire y fuego son más ligeros y ocupan lugares sucesivos, hasta el límite de la órbita de la luna, llenando el mundo sublunar o terrestre.

Todo lo que se mueve o bien se mueve por sí mismo o tiene que ser movido por otro (*causa eficiente*) y ha de tener un fin (*causa final*); para Aristóteles no existiría el vacío pues considera que la velocidad es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la resistencia ejercida

$$V = F \times R$$

Y de existir el vacío la velocidad sería infinita. De ahí que sostenga un error al afirmar que el movimiento solo se da en un medio resistente. Error que se prolongaría durante siglos.

La cosmología aristotélica se basaba en el modelo geocéntrico de esferas homocéntricas de Eudoxo modificado por el astrónomo Calipo; esto, referido al *mundo celeste*, y no al *mundo terrestre* o *sublunar*. En el mundo sublunar están los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) y es lugar del cambio donde se dan la generación y la corrupción. En este mundo, el movimiento es rectilíneo, y cada elemento se mueve hacia su lugar natural, en un universo lleno y en el que el movimiento se produce por contacto, no existiendo, el vacío.

En síntesis, el universo de Aristóteles es geocéntrico, finito por estar limitado por la última esfera, lleno, continuo y coeterno con Dios sin principio ni

fin; esta última afirmación fue un obstáculo para integrar la doctrina aristotélica con el pensamiento cristiano medieval<sup>13,14</sup>.

### B. Concepciones sobre la estructura de la materia en el Barroco

Vamos a señalar, aquí, los aspectos más importantes del tema que nos ocupa.

Para Galileo, el concepto de ciencia era meridianamente claro; en ella, los dos elementos fundamentales eran la observación de la naturaleza y la expresión de su comportamiento en forma de leyes matemáticas. Galileo estudió el movimiento de los cuerpos y se declaró abiertamente atomista; al margen del redescubrimiento de Lucrecio operado en Europa en el siglo XV, Galileo con su visión mecanicista de la naturaleza introduce el atomismo en sus concepciones por dos razones; por un lado, para explicar la contracción y rarefacción de los cuerpos; y, por otro, le permitía desarrollar la idea de vacío negada por Aristóteles, primero y los escolásticos, después.

La generación posterior a Galileo y anterior a Newton se caracteriza por la implantación de una visión *mecanicista* de la naturaleza con el abandono de la física aristotélica. Visión mecanicista quiere decir que *el mundo real es el mundo de los cuerpos en movimiento que pueden describirse matemáticamente*.

Pascal, eminente matemático, creyó y defendió la existencia del vacío y el atomismo; y fortaleció la tradición iniciada por Galileo del planteamiento matemático de todo problema físico.

También Descartes defendió el atomismo, siendo los átomos las últimas parcelas de extensión. Sin embargo, para él, los átomos no son indivisibles, ya que el espacio puede ser dividido indefinidamente y niega la existencia de vacío. Para él existirían tres tipos de materia: la primera y más sutil, sería el *eter*; la segunda sería la *materia luminosa* de la que estarían hechos el sol y las estrellas; y, la tercera, la más densa y opaca serían la Tierra y los planetas. Estos tres tipos de materia estarían divididos en átomos, en contacto unos con otros; y, como no existiría el vacío, la materia más densa se movería a través de la más sutil.

En sus estudios sobre el movimiento, añade el tema de la inercia; y también le otorga tiempo y dedicación al tema del magnetismo. Su cosmología se basa en sus ideas de mecánica en la que solo se admiten interacciones por medio de con-

13 Udias Vallina, A.: Historia... op. cit. págs. 60-65.

14 Fischl, J.: Manual... op. cit., págs. 80-94.

tacto o choques entre cuerpos; y afirma, con rotundidad la uniformidad de toda la materia que forma el universo y la conservación del movimiento.

No vamos a entrar aquí en su teoría de *los vórtices o torbellinos* para explicar el movimiento de los planetas en torno al Sol y tampoco en su *Geometría analítica* en la que demuestra la equivalencia entre figuras geométricas y expresiones algebraicas.

La figura más importante postcartesiana, fue, sin lugar a dudas, el holandés Christian Huygenes cuyas contribuciones más importantes fueron el estudio del movimiento del péndulo y la teoría ondulatoria de la luz. Huyghens junto con Olaus Roemes y otros son herederos directos del mecanicismo postcartesiano. La escuela empirista inglesa representada por Boyle y Robert Hooke tiene su relevancia en esta historia. En efecto, Robert Boyle emite una *teoría corpuscular* de la materia en la que los compuestos químicos están formados por la agrupación de partículas primarias en distintas proporciones y configuraciones. Las diferencias entre ellas depende del número, posición y movimiento de las partículas primarias. Poco ofreció al tema que nos ocupa Robert Hooke, salvo su firmísima postura experimental y antiaristotélica.

Y, finalmente, en este apretado resumen, señalemos algunas ideas sobre el asunto que nos ocupa de Isaac Newton. En su obra más importante *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* expone sus ideas fundamentales las leyes de la Mecánica, la Gravitación, Óptica, Cálculo Infinitesimal y composición atómica de la materia.

Las ideas de Newton sobre la estructura atómica de la materia pueden conocerse en su libro de *Óptica*. Allí afirma que la materia está constituida *por partículas sólidas, impenetrables y móviles* en propias palabras. En el mismo lugar habla Newton de cinco tipos de fuerzas en las que intervienen las partículas que constituyen la materia (gravedad, magnetismo, electricidad, fermentación y cohesión). A los conceptos clásicos del atomismo Newton añadió un dato más: una disposición jerárquica de los átomos para formar los cuerpos. Y quiso correlacionar esta jerarquía con la proporción entre átomos y espacio vacío de acuerdo con un esquema geométrico.

A partir de estas consideraciones llegó a comprobar el peso específico de los metales que conocía y llegó a la conclusión de que el máximo peso específico era aproximadamente de 33. E intuyó que la materia, tan consistente en apariencia está formada por más espacio vacío que lleno.

La ciencia moderna, caminaba con paso seguro a través de dos rieles firmes: el experimentalismo, por un lado, y la traducción de hipótesis y teorías a puro len-

guaje matemático. Obviados ya, Aristóteles y Platón se abrían ya nuevos caminos a la ciencia<sup>15, 16</sup>.

### 3. La ciencia en la Ilustración (siglo XVIII)

La Ilustración vino a ser en la historia de la cultura como la madurez del hombre; éste, que había sido traído y llevado en un cochecito de bebe por autoridades de todo estirpe y linaje, se independiza y autoafirma.

#### A. El mundo ilustrado

El hombre, como acabamos de decir, durante la Ilustración, se independiza; y ya no precisa de excesivas apoyaturas; ni de la opinión de los tratados escritos; ni de las verdades reveladas ofrecidas por la Iglesia; ni de las leyes del Estado; a partir de ahora, se va a regir y gobernar en todo por su propia razón; no en vano al siglo XVIII se le denomina *el siglo de las luces*.

En adelante, el hombre buscará lo más práctico para conseguir una vida mejor; y abandona los grandes sistemas que le expliquen el mundo. Y encontrará soluciones en ensayos, en dramas representados en el teatro y en breves artículos de enciclopedias. Y, lo que es importante el *homo homini lupus* se humaniza; y quiere que los estamentos o clases más bajas en la escala social, dejen de ser despreciados y entren a participar en los bienes del progreso. De este modo, la Ilustración crea una nueva pedagogía y se colocan las bases para la democracia.

La Ilustración, contra lo que pudiera creerse se inicia en Inglaterra precozmente, irradiándose al resto del mundo. A continuación, Francia importó aquellas ideas, las radicalizó, en sus géneros literarios y enciclopedias y, finalmente, provocó la revolución francesa. Finalmente Alemania, ennoblecó estas ideas de manera notable en su literatura creando el clasicismo alemán<sup>17</sup>.

#### B. La ciencia en la Ilustración

Desde la Ilustración hasta el siglo XX se abre un periodo con un enorme desarrollo de la ciencia, particularmente de la Física, llamándose al siglo XVIII y parte

15 Udías Vallina, A.: Historia... op. cit. págs. 143-161.

16 Fishl, J.: Historia... op. cit., págs. 255-275.

17 Ibidem. Págs. 306-339.



*Olans Rolmer. (AJFG/RFA).*



*Imperial College de Londres. (AJFG/RFA).*



*Fermat. (AJFG/RFA).*



*Leibnitz. (AJFG/RFA).*



*François L'Hopital. (AJFG/RFA).*



*Brook Taylor. (AJFG/RFA).*

del XIX *el siglo de la Física*. A un ritmo rápido todos los aspectos de la Física se desarrollan con rapidez, constituyendo lo que hoy se denomina *Física clásica*.

Paralelamente, se desarrollan las matemáticas, el auténtico lenguaje de la Física. El desarrollo de la Física coincide con dos fenómenos culturales de gran importancia; la Ilustración y la Revolución Industrial; esta coincidencia ha sido relevante porque el desarrollo de la ciencia incidió sobre ambos fenómenos culturales; y, porque, a su vez, estos recibieron su influencia<sup>18</sup>.

Analicemos, brevemente, lo que acabamos de decir. Durante la Ilustración, se entroniza la razón tanto para conocer el mundo como para mejorar la condición humana. En esta época se acuña el término *científico*, aplicado a personas e ideas; y el término *física* adquiere su dimensión actual excluyendo de ella a los seres vivos e incidiendo en su carácter experimental y con un lenguaje exacto cual era el matemático.

El desarrollo científico tuvo sus consecuencias en el pensamiento religioso. En efecto, a partir de entonces se consideró al universo como un ente autónomo gobernado por sus propias leyes. Como consecuencia, la existencia de un Dios personal y creador se puso en duda; y hubo dos tipos de salida: por una parte, *el deísmo*, una especie de religión natural, que cree en un Dios creador. Y, por otra el escepticismo, el materialismo y cuando no, el ateísmo con una ética secular.

La Revolución Industrial también tuvo algo que ver con el desarrollo de la ciencia de la época. De una Sociedad basada en la agricultura, se pasó a la industria, a la introducción de maquinaria en el proceso de producción y transporte. Recuérdese, al respecto, que la mayoría de las aplicaciones prácticas industriales nacieron gracias al desarrollo de la física en el campo de la mecánica, la termodinámica y el electromagnetismo.

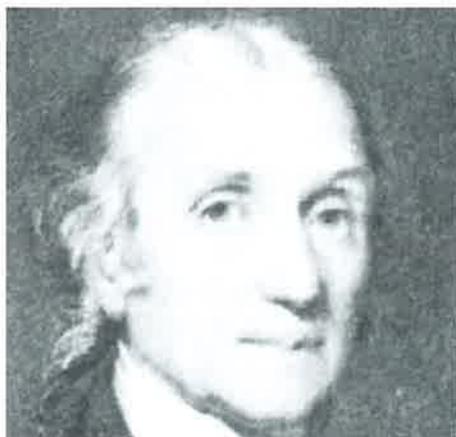
Finalmente, una cuestión importante: un factor de interés que influyó en esta época en el desarrollo de la Ciencia y en concreto de la física, fue la transformación o cambio profundo que se operó en las universidades. A finales del siglo XVIII la Universidad se hace laica; en efecto, la universidad medieval en la que se enseñaba esencialmente Teología se seculariza; la consecuencia fue lógica: se depleccionó la Universidad de Teología y el hueco que quedó se rellenó con ciencias naturales. Este proceso comienza en Alemania, en las Universidades de Göttingen y Berlín, generalizándose después. En Inglaterra, por sus peculiaridades religiosas, no hubo ruptura y se fueron creando universidades con orientación predominantemente científica como el Imperial College de Londres. Y

---

18 Udias Vallina, A.: Historia... op. cit., págs. 164-222.



*D'Alembert. (AJFG/RFA).*



*Henri Cavendish. (AJFG/RFA).*



*William Rankine. (AJFG/RFA).*



*Thomas Young. (AJFG/RFA).*



*Robert Mayer. (AJFG/RFA).*



*Ludwig Helmholtz. (AJFG/RFA).*

este proceso se fue extendiendo paulatinamente al resto de los países europeos, especialmente a Francia, España e Italia.

Difícil será realizar un breve resumen de un periodo tan rico en novedades científicas dentro del terreno de la Física.

En el mundo de las matemáticas y del desarrollo del cálculo tras Descartes, Fermat, Pascal, Newton y Leibnitz, cabe destacar en este periodo a Jacob Bernoulli y Guillaume François L'Hospital en el continente; a Brook Taylor y Colin Maclaurin en Gran Bretaña y otros. Ellos facilitaron la formulación matemática de los fenómenos físicos.

#### *a) Trabajo, energía y movimiento*

Y, entrando en el mundo propiamente dicho de la física, destacamos algunos científicos por sus aportaciones. En este sentido, cabe destacar, en primer lugar, a D'Alambert quien fue el primero en formular la ecuación diferencial de propagación de ondas, de gran importancia en física; y completó las teorías de Newton con sus trabajos sobre dinámica; otra aportación llegó de la mano de Henry Cavendish quien realizó la primera determinación fiable de la constante G que aparece en las fórmulas para la fuerza y cuyo valor Newton no determinó. Finalmente el concepto de energía como capacidad para realizar un trabajo lo propuso William Rankine y lo completó Thomas Young.

El problema de la conservación de la energía, lo abordó Robert Mayer llegando a formular el principio de la conservación de la energía; pero, la formulación completa de este principio la hizo Hermann Ludwig Helmholtz. La mecánica, recibió un fuerte impulso a partir del cálculo infinitesimal gracias a los trabajos de Leonhard Euler, pasando a llamarse esta parte de la Física, Mecánica Analítica; en esta parte de la Física, también destacó Louis Lagrange, quien analizó matemáticamente, publicando todo el trabajo hecho sobre mecánica desde Newton. Hamilton fue otro gran formulador de los problemas de mecánica, que desarrolló Carl G. Jacob en sus *Lecciones de dinámica*. Lagrange, Jacob y Hamilton son los padres de las leyes generales de las que se pueden deducir analíticamente las leyes del movimiento.

#### *b) Teoría de la elasticidad, mecánica de fluidos y propagación del sonido*

Parte sustancial de la mecánica la constituye el estudio del comportamiento de los cuerpos deformables bajo la acción de fuerzas. A él se aplicaron Galileo, Hooke, Mariotte y Euler.



*Leonhard Euler. (AJFG/RFA).*



*Louis Lagrange. (AJFG/RFA).*



*William R. Hamilton. (AJFG/RFA).*



*Carl G. Jacob. (AJFG/RFA).*



*Edme Mariote. (AJFG/RFA).*



*Charles A. de Coulomb. (AJFG/RFA).*

Se ocuparon sucesivamente, del tema, los siguientes autores: Charles A. de Coulomb, Henri Navier, Agustín Louis Cauchy, Simeón Denis Poisson. A partir de los estudios de este último, los estudios se desarrollaron con mucha rapidez siendo importantes las aportaciones de George Green, Augustus E. Lowe. Este último realizó estudios prácticos sobre las mareas terrestres, deformaciones de la Tierra sólida por influjo gravitacional del Sol y luna, movimientos sísmicos, etc.

El estudio del comportamiento mecánico de líquidos y gases ya había sido estudiado por Arquímedes, Boyle, Pascal, etc. Pero, las primeras formulaciones matemáticas las realizaron Daniel Bernoulli, Euler, Stokes y otros. Una contribución importante al estudio del movimiento de un fluido se realizó cuando se estudiaron las turbulencias. Inició estos estudios Helmholtz y los prosiguieron Osborne Reynold, Stokes, Maxwell y Ernst Mach.

Respecto a la propagación del sonido como fenómeno vibratorio del aire, ya se había estudiado durante la antigüedad y en la Edad Moderna (Mersenna, Gassendi, Newton, D'Alambert). La velocidad de propagación del sonido la determinó la Academia de Ciencias de París en 1738, midiendo el intervalo de tiempo entre el fogonazo de un cañón y el oído de su estampido; se estimó en 332 m/segundo. Ulteriormente realizaron estudios sobre el tema los siguientes autores: Ernst Chladni, Helmholtz, Jhon W. Strutt, Lord Rayleigh, etc.

### c) *Mecánica celeste y terrestre. Dinámica no lineal y procesos caóticos*

Newton había demostrado que la ley de la gravitación era universal; esto es: afectaba por igual a los cuerpos que estaban sobre la superficie de la tierra como a los astros. Laplace fue el continuador de la obra de Newton y aportó cuestiones interesantes como el origen del Universo a partir de una nebulosa, la estabilidad del sistema planetario y la probabilidad de que ocurran fenómenos en física y astronomía, poniendo las bases de la estadística, etc. Él y sus seguidores muchos profundizaron en más problemas: el descubrimiento de nuevos planetas, la forma y los movimientos de la tierra, etc.

La mecánica clásica era determinista, lineal. Esto es: un sistema dinámico está totalmente determinado por sus condiciones y las leyes del movimiento. Pero se descubrió que la mayoría de los sistemas físicos dinámicos son no lineales; de ahí, la importancia que tiene el comportamiento caótico de difícil formulación matemática; en realidad, hasta la aparición de los ordenadores no se pudieron estudiar estos sistemas, cuyo manejo informático recibe la denominación de *matemática experimental*. El pionero en el estudio de procesos caóticos fue



*Henri Navier. (AJFG/RFA).*



*Agustín Louis Cauchy. (AJFG/RFA).*



*Simeón Denis Poisson. (AJFG/RFA).*



*George Green. (AJFG/RFA).*



*Osborne Reynold. (AJFG/RFA).*



*George G. Stokes. (AJFG/RFA).*



*Ernst Mach. (AJFG/RFA).*



*James Clerk Maxwell. (AJFG/RFA).*



*Marin de Mersenne. (AJFG/RFA).*



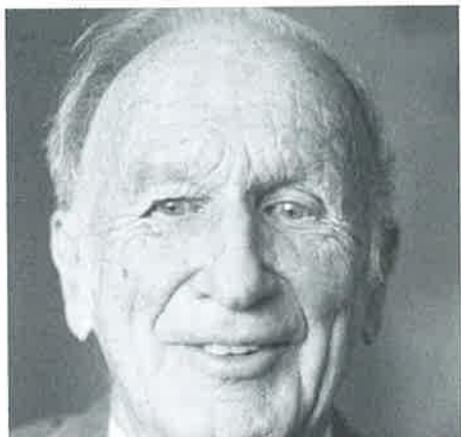
*Ernst Chladni. (AJFG/RFA).*



*John W. Strutt. (AJFG/RFA).*



*Lor Rayleigh. (AJFG/RFA).*



*Edward N. Lorenz. (AJFG/RFA).*



*Robert M. May. (AJFG/RFA).*



*Georg E. Stahl. (AJFG/RFA).*



*James Prescott Joule. (AJFG/RFA).*



*Gabriel Daniel Fahrenheit. (AJFG/RFA).*



*Anders Celsius. (AJFG/RFA).*

Henri Poincaré siguiéndole otros ya en el siglo XX (Edward N. Lorenz, Robert M May y otros).

*d) Calor y termodinámica. Teoría de los gases*

La vuelta a las ideas atomistas durante la Edad Moderna, indujo a pensar que el calor era el resultado del movimiento de los átomos. Hubo de todos modos teorías sucesivas sobre el calor. Para E. Stahl, las sustancias combustibles tendrían un elemento combustible al que llamó *flogisto*; más tarde, L. Lavoisier, padre de la química, reconoció el papel que tenía el oxígeno en la combustión pero también creyó que existía una sustancia combustible a la que llamó *calórico*, una especie de fluido sin peso que pasa de unos cuerpos a otros. Joule ocuparía un lugar importante en estos estudios y tras múltiples experiencias llegó a la conclusión de que el calor no podía ser una sustancia material sino un efecto del movimiento. Pronto, Gabriel Daniel Fahrenheit y Anders Celsius fabricaron sus respectivos modelos de termómetro. Joseph Fourier se dedicaría a la formulación matemática de los fenómenos relacionados con el calor.

La *termodinámica* también se desarrolló por aquellas fechas. Nicolás L. Sadi Carnot fue uno de sus primeros propulsores aunque la Primera Ley de la Termodinámica ya estaba en los trabajos de Joule; y ya entrado el siglo XIX Gay-Lussac acompañado por Biot, ascendió en un globo hasta una altitud de unos 5.000 metros para experimentar y observar los cambios de presión atmosférica y temperatura. Rankine utilizó un modelo molecular de los gases en el que el calor estaba asociado con el movimiento de partículas D, relacionado con su energía cinética. La encarnación práctica sobre las ideas de calor y trabajo fue la máquina de vapor. Un paso importante en el ámbito científico fue el concepto de *entropía* creado por Rudolph J. Clausius, creado a partir de él la primera y segunda ley de la Termodinámica.

Ya mediado el siglo XIX tuvieron importancia en el mundo de la Termodinámica los siguientes autores, entre otros: Lord Kelvin, William Tomson, Walter Nernst y Josiah Willard Gibbs.

La *teoría cinético-molecular de los gases*, supone la identificación definitiva del fenómeno del calor con el movimiento. En esta teoría queda de manifiesto como todos los fenómenos relacionados con las condiciones de un gas, presión, volumen y temperatura se pueden explicar considerando el gas como un conjunto de partículas o moléculas en movimiento de acuerdo con la teoría atómica de la materia. La aplicación de la estadística a los problemas de la Termodinámica es obra



*Joseph Fourier. (AJFG/RFA).*



*Nicolás L. Sadi Carnot. (AJFG/RFA).*



*Joseph Louis Gay-Lussac. (AJFG/RFA).*



*William Rankine. (AJFG/RFA).*



*Rudolp. J. Clausius (AJFG/RFA).*



*Jean Batiste Biot. (AJFG/RFA).*

de grandes físicos entre los que destacan: C. Maxwell y Boltzmann *La mecánica estadística* si añadimos la aportación de Einstein y Planck es un importante instrumento en física que permite estudiar tanto sistemas clásicos como cuánticos (estudios sobre materia condensada, magnetismo de los materiales, comportamiento de los plasmas, etc.). *La termodinámica de los procesos irreversibles* fuera del equilibrio; su estudio lo inició Lars Onsager, prosiguiéndolos Ilya Prigogine; estudios muy interesantes los de este último autor que ofrecen conceptos nuevos como *estructuras disipativas*, *fenómenos de organización*, etc. La aplicación de las ideas modernas de la termodinámica y mecánica de fluidos a la circulación de la atmósfera ya es antigua (Espy, W. Redfiel, W. Ferral), ya en el siglo XX han tenido importancia los trabajos de Vilhelm Bjerknes, Carl-Gustav Rossby, Jule G. Charney, Hans Ertel, etc.

#### e) Luz, electricidad y magnetismo

La mayoría de los autores posteriores a Newton siguieron la *teoría corpuscular de la luz*. Sin embargo, algunos como Bernoulli y Euler continuaron creyendo en la *teoría ondulatoria*, apoyados ulteriormente por otros (Euler, Fresnel, Arago, etc.).

La teoría ondulatoria de la luz suponía la existencia de un sustrato material, muy sutil, denominado *éter luminoso* que llena aún el espacio vacío.

*La electricidad* en el siglo XVIII se convirtió en una atracción social en los salones de la sociedad ilustrada. Stephen Gray demostró que la electricidad podía conducirse a través de hilo metálico, existiendo material conductores o conductores *aislantes*. Y a la electricidad se la consideró como un fluido que podía pasar de unos cuerpos a otros. Algunos autores como Charles F. Dufay supuso que había dos tipos de fluidos eléctricos: uno que explicaría la atracción y, el otro, la repulsión. B. Franklin se opuso a la teoría de los dos fluidos y acuñó los términos de electricidad positiva y negativa. Uno de los primeros que utilizaron el término o concepto de carga eléctrica fue Cavendish quien realizó trabajos notables en electricidad. Pero, la ley que rige las fuerzas de atracción y repulsión entre las cargas eléctricas y los polos magnéticos fue estudiada y publicada por Coulomb. Otro paso importante lo daría Volta quien creó la pila que lleva su nombre, proporcionando por primera vez una fuente estable de corriente eléctrica. Ohm, por su parte, crea su famosa ley. La forma más primitiva de condensador lo constituye la *botella de Leyden*, pero el fenómeno de autoinducción de una corriente eléctrica en una bobina fue descubierto por el físico norteamericano Joseph Henry.



*Lord Kelvin (AJFG/REA).*



*Waltr Nernst (AJFG/REA).*



*Josiah Willard Gibbs (AJFG/REA).*



*Ludwing E. Boltzmann (AJFG/REA).*



*Lards Onsager (AJFG/REA).*



*Ilya Rigogine (AJFG/REA).*



*James Spy (AJFG/REA).*



*W. Redfield (AJFG/REA).*

*El magnetismo* se desarrolló simultáneamente al conocimiento de la electricidad al descubrirse que ambos fenómenos estaban relacionados, desarrollándose *la teoría del electromagnetismo*. Una de las personas clave en el desarrollo del electromagnetismo fue Karl Friedrich Gauss y su sucesor Wilhem Weber. Al margen de estudios teóricos y formulaciones matemáticas estos autores consiguieron aplicaciones prácticas a sus estudios en motores y dinamos.

*El magnetismo terrestre* ya lo conocían los navegantes antiguos; su estudio se desarrolló a partir de los trabajos de Gauss, Edward Sabine, George Graham, Celsius, Heinrich Schwabe, Alexander von Humboldt y otros realizaron importantes estudios en este sentido. La demostración de la existencia de ionosfera y magnetosfera serían frutos importantes, atribuibles en el primer caso a Oliver Heaviside y, en el segundo, a Sidney Chapman. Pero, las ideas más modernas se deben a Joseph Larmon en el siglo XX.

Pronto se llevaría a cabo por los científicos *la unificación de los fenómenos eléctricos y magnéticos*. Tras la observación inicial de Hans Christian Oersted, Arago fabrica en París el primer electroimán. Más tarde Ampere haría la formulación matemática de estos fenómenos. Y Michael Faraday consiguió el efecto contrario a la generación de un campo magnético por una corriente eléctrica; esto es: la generación de una corriente eléctrica por un campo magnético. Faraday no especuló matemáticamente sobre estos fenómenos, pero creó el concepto de *líneas de fuerza* como mecanismo de interacción entre campos eléctricos y magnéticos. Kelvin intentó formular matemáticamente el pensamiento de Faraday. Les seguirían muchos físicos y matemáticos llegando a encontrar aplicaciones prácticas en sus descubrimientos especialmente la telegrafía que perfeccionarían Thomas A. Edison y Edwin Hughes. La formulación matemática de Faraday la realizó especialmente James Clerk Maxwell. Con este autor quedaría definitivamente formulado el fenómeno electromagnético que se rige por sus originales ecuaciones que incluyen el fenómeno de la luz. El *éter luminoso*, que habían defendido los que postulaban la teoría ondulatoria de la luz, pasaba a llamarse *éter electromagnético*. Proseguirían los estudios de Maxwell, Hendrik A Lorentz, George J. Stoney y otros.

Demostrada la existencia de ondas electromagnéticas y su generación en el Laboratorio por Heinrich R. Hertz, éste se dedicó al estudio de sus propiedades. Fueron muchos los que experimentaron este fenómeno y hubo uno que le dio una dimensión práctica. Nos referimos a Guglielmo Marconi quien aprovechó la propagación de ondas electromagnéticas para transmitir señales, consiguiendo enviar señales por radio desde Europa a América del Norte.



*William Ferrel (AJFG/RFA).*



*Vilhelm Bjerknes (AJFG/RFA).*



*Carl Gustav (AJFG/RFA).*



*Jule G. Charney (AJFG/RFA).*



*Hans Ertel (AJFG/RFA).*



*Agustin Jean Fresnel (AJFG/RFA).*



*Dominique F. Arago (AJFG/RFA).*



*Stephen Gray (AJFG/RFA).*



*Benjamin Franklin (AJFG/REA).*



*Alessandro Volta (AJFG/REA).*



*George Simon Ohm (AJFG/REA).*



*Botella de Leyden (AJFG/REA).*



*Ernst Viktor von Leyden (AJFG/REA).*



*Joseph Henry (AJFG/REA).*



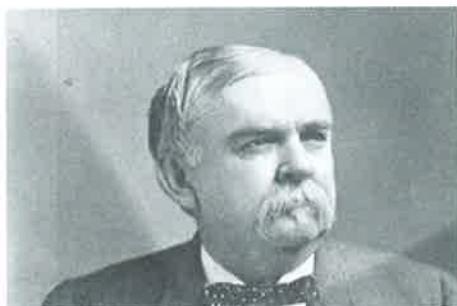
*Kark Friedrich Gauss (AJFG/REA).*



*Wilhem Weber (AJFG/REA).*



*Edward Sabube (AJFG/RFA).*



*George Graham (AJFG/RFA).*



*Anders Celsius (AJFG/RFA).*



*Heinrich Schwabe (AJFG/RFA).*



*Alexander Humboldt (AJFG/RFA).*



*Oliver Heaviside (AJFG/RFA).*



*Joseph Larmor (AJFG/RFA).*



*Hans Christian Oersted (AJFG/RFA).*

Y, finalizamos esta ya larga y tediosa historia que, a estas alturas está a punto de enlazar con la invención de los Rayos X por Roentgen y otros experimentos que serían la base de la actual electrónica. Pero, resumiendo, podría decirse las ciencias de la Naturaleza durante la Ilustración. Tuvo estas características:

- En gran medida, rompe con el pasado progresivamente: con la superstición, con la Filosofía y con la Teología.
- Se convierte en ciencia experimental.
- Todo descubrimiento tiende a ser formulado matemáticamente.
- Es el fermento de la ciencia actual<sup>19,20,21,22</sup>.

### C. La estructura de la materia durante la Ilustración

Ya lo hemos comentado líneas atrás, con el comienzo de la ciencia moderna en el siglo XVII se dio un paso definitivo en la concepción de la estructura de la materia; en efecto, se olvida a Aristóteles y se revitaliza la teoría atómica de Leucipo y Demócrito que ya habían divulgado Epicuro y Lucrecio.

Los científicos modernos desde Galileo a Boyle, pasando por Gasendi, Descartes y Newton sostuvieron que la materia está compuesta por átomos; es decir: pequeñas partículas indivisibles que se mueven en el vacío e interaccionan mecánicamente entre sí.

Inicialmente, para los atomistas, los átomos solo tenían características mecánicas, masa, tamaño, forma y movimiento. A este esquema inicial, siguió otro más dinámico en el que lo importante eran las fuerzas de atracción y repulsión que creaban y no las partículas propiamente dichas. Este dinamismo atómico se lo debemos a Faraday y a Roger Boscovi.

Un paso adelante en la teoría atómica se dio gracias a los avances de la química; en concreto fue Lavoisier quien estableció una relación entre elemento químico y átomo. Pero la primera teoría atómica completa aplicada a la Química la dio John Dalton. Él distinguió entre *substancias químicas simples*, constituidas por átomos iguales de las que reconoció 20 familias distinguiéndolas con símbolos y *las substancias químicas compuestas* que estarían constituidas por agrupacio-

19 Dragori, G., Bergia, G. y Gottardi, G.: Quién es quién en ciencia. Edit. Acento. Madrid 2004 (2 tomos). Páginas correspondientes a autores citados.

20 Asimov, J.: Enciclopedia biográfica de Ciencia y Tecnología. Revista de Occidente. Madrid 1973. Páginas correspondientes a autores citados.

21 Vallejo Campos, A.: Platón y la Academia. En: Historia Universal del Pensamiento Filosófico, Armando Segura Naya (dir.). Liber Distribuciones educativas. Ortuella (Vizcaya) 2007. Tomo I, págs. 309-389.

22 Gustavo Vigo, A.: Aristóteles y el Liceo. Historia Universal del Pensamiento. Op. cit., págs. 391-566.



*André Marie Ampere (AJFG/RFA).*



*Michel Faraday (AJFG/RFA).*



*Thomas A. Edison (AJFG/RFA).*



*Edwin Hughes (AJFG/RFA).*



*James Clerk Maxwell (AJFG/RFA).*



*Hendrik A. Lorentz (AJFG/RFA).*



*George J. Stoney (AJFG/RFA).*



*Heinrich R. Hertz (AJFG/RFA).*



*Roger Boscovic. (AJFG/RFA).*



*Antoine Lavoissier. (AJFG/RFA).*



*John Dalton. (AJFG/RFA).*



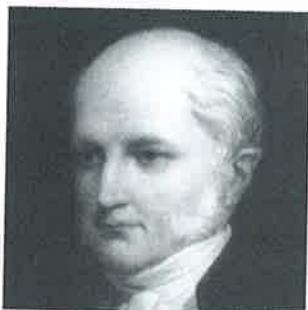
*Joseph Louis Gay-Lussac. (AJFG/RFA).*



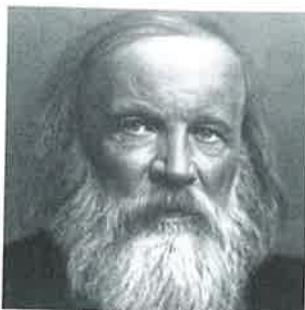
*Avogadro. (AJFG/RFA).*



*Jhons J. Berzelius (AJFG/RFA).*



William Prout (AJFG/RFA).

Dimitri Ivanovich Mendeleiev  
(AJFG/RFA).

Julius Meyer (AJFG/RFA).

nes de dos, tres, cuatro o más elementos simples. Y a cada elemento simple, Dalton le adjudicó un peso atómico relativo considerando el hidrógeno como unidad. Y, en suma racionalizó las leyes de las combinaciones químicas.

Más tarde, Gay-Lusac formuló su ley de la combinación de los volúmenes de gases a presión y temperatura constantes. Una síntesis entre el atomismo de Dalton y la ley de los volúmenes de Gay-Lusac la llevó a cabo Lorenzo Amadeo Avogadro, concluyendo de este modo:

- Cualquier gas, en un mismo volumen a presión y temperatura constantes contiene el mismo número de moléculas.
- El número de moléculas en un mol de una sustancia es de  $6.002 \times 10^{23}$  llamado hoy *Número de Avogadro*.
- Hay gases diatómicos como el oxígeno y el hidrógeno.
- Distinguió de manera clara entre *moléculas elementales* (átomos) y *moléculas integrantes* (compuestos químicos).

Ulteriormente Jhons J. Berzelius adjudicaba al átomo además de una masa, una carga eléctrica a la que llamó *Valencia*. Y a él se debe la nomenclatura standard utilizado en química.

Una idea de interés, aunque no fue muy considerada es la de William Prout quien supone que los átomos no son en sí mismos simples, sino que están formados por partículas aún más sensibles.

La lista de los elementos químicos va aumentando progresivamente y se imponía su clasificación, lo más racional posible. El problema se resolvió cuando Dmitri Ivanovich Mendeleiev y Julius Meyer estudiaron el problema. Mendeleiev se convenció de que la única manera de clasificar los elementos era por sus pesos atómicos. De este modo ordenó los 63 elementos que se conocían entonces, en una tabla que denominó *Tabla periódica de elementos*.

La espectroscopía de emisión y absorción se convirtió en técnica valiosa en el análisis químico de sustancias para conocer su composición, convirtiéndose, a la larga en un instrumento de trabajo de primer orden en Astrofísica<sup>23,24,25,26</sup>.

#### IV. Bibliografía mínima selecta

1. Asimov, I.: Enciclopedia biográfica de la ciencia y tecnología. Revista de Occidente. Madrid 1973.
2. Dragoni y cols.: Quien es quién en ciencia. Edit. Acento. Madrid 2004 (2 tomos).
3. Fischl, J.: Manual de Historia de la Filosofía. Edit. Herder. Barcelona 1967.
4. Lain Entralgo, P.: Historia de la Medicina. Edit. Masson. Barcelona 1978.
5. Marias, J.: Historia de la Filosofía. Alianza Editorial. Madrid 2008.
6. Maraval, A., La cultura del Barroco. Edit. Ariel. Madrid 2002.
7. Reale, G. y cols.: Historia del Pensamiento Filosófico y Científico (3 tomos). Edit. Herder. Barcelona 2003.
8. Segura Naya, A.: Editor, Historia Universal del Pensamiento Filosófico (6 volúmenes). Liber distribuciones educativas. Ortuella, Vizcaya 2007.
- 9 Udiás Vallina, A.: Historia de la Física. Edit. Síntesis. Madrid 2004.

---

23 Asimov, I.: Enciclopedia biográfica... Op. cit., páginas correspondientes a autores citados.

24 Dragori, G. y cols.: Quién es quién en ciencia. Op. cit. Páginas correspondientes a autores citados.

25 Reale, G. y Antiseri, D.: Historia del Pensamiento Filosófico y Científico. Edit. Herder. Barcelona 1988. Tomo 3, págs. 321-376.

26 Udiás Vallina, A.: Historia... Op. cit., págs. 164-222.