

LA FÍSICA. BREVE APUNTE HISTÓRICO

PHYSICS. A BRIEF HISTORICAL NOTE

Julio Gutiérrez Muñoz: Universidad de Alcalá de Henares. Madrid (España)
julio.gutierrez@uah.es

CURRÍCULUM VITAE

Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid). En la actualidad imparte clase de la asignatura de Física incluida en la titulación de Grado en Química de dicha Universidad. Autor de numerosos artículos científicos. Miembro fundador de GRUA (Grupo de Reflexión de la Universidad de Alcalá de Henares). Vicerrector de la Universidad de Alcalá de Henares. Director de la Revista Vivat Academia.

RESUMEN

La conquista de algunos de los axiomas de la Física le ha costado a la Humanidad miles de años de investigación. Se hace necesario, para comprender muchos de los problemas y leyes de la Física actual, hacer un pequeño relato histórico. Además, el énfasis en el mundo griego nos mostrará que los métodos, inquietudes y balbuceos de la Física han cambiado poco. Este análisis arranca en el Mundo Antiguo, pasando por la Edad Media y el Renacimiento hasta llegar al Mundo Moderno. En él veremos la cantidad de físicos que han intentado encontrar explicación a muchos de los aspectos de esta ciencia.

PALABRAS CLAVE

Física - Humanidad - Leyes - Mundo Griego

ABSTRACT

The conquest of some of the axioms of physics has cost humanity thousands of years of research. It is necessary to understand many of the problems and current laws of physics, do a little historical story. Moreover, the emphasis in the Greek world will show that the methods, concerns and babbling of physics have changed little. This analysis begins in the ancient world, through the Middle Ages and the Renaissance up to the Modern World. It will see the number of physicists have tried to find explanation for many aspects of this science.

KEY WORDS

Physics - Humanity - Law - Greek World

ÍNDICE

1. Introducción
2. El Mundo Antiguo
3. Edad Media, Renacimiento y Mundo Moderno
4. La Física Contemporánea
5. Conclusión
6. Notas

TEXTO

1. Introducción

El número de principios básicos, a partir de los que puede desarrollarse la Física, es pequeño, sobre todo teniendo en cuenta el volumen actual de esta Ciencia; volumen en cuanto a cantidad de conocimientos sobre los fenómenos que concierne. Sin embargo, la conquista de alguno de los axiomas le ha supuesto a la Humanidad miles de años de paciente investigación. Se hace necesario, para comprender muchos de los problemas y leyes de la Física actual, hacer un pequeño relato histórico. Además, el énfasis en el mundo griego nos mostrará que los métodos, inquietudes y balbuceos de la Física han cambiado poco o, mejor, casi nada.

Esta pequeña revisión cronológica no pretende, en modo alguno, ser exhaustiva, y en ella se notarán lagunas, unas intencionadas, otras no, que algún lector puede considerar imperdonables. Rogamos comprensión; se trata, simplemente, de intentar exponer las dificultades del avance científico.

Es prácticamente imposible indicar una fecha, época o civilización para marcar el nacimiento de la Física, como parte de la Filosofía, pero con cuerpo de doctrina independiente. Sabemos que los caldeos (inventores del cálculo) y los egipcios eran excelentes astrónomos. Los chinos llegaron a descubrir la más útil aplicación del magnetismo para el comercio, la brújula, mas no parece que hicieran otras contribuciones al mundo físico o, al menos, las desconocemos por completo; quizás debido a su aislamiento. Posiblemente en la Grecia Clásica se asientan verdaderamente las bases de la Física. No obstante, a pesar del sentido de la estética y la crítica y su pasión por el razonamiento, los griegos no fueron lo suficientemente curiosos como para tener necesidad de experimentar, razón por la cual la Física quedó en un segundo plano, detrás de la Filosofía, la Geometría y la Literatura.

2. El Mundo Antiguo

Curiosamente, los antiguos griegos pasaron de un periodo cosmológico, en el que se indagaba sobre el principio de las cosas, aproximadamente siglos VI y V a. J.C., a un periodo antropológico, en las últimas décadas del siglo V, en el que el Hombre pasó a ser el centro de atención de los pensadores. Nos detendremos en la primera época, pues es la que tiene un carácter más fisicista. En ella, la preocupación esencial de los filósofos es explicar la Naturaleza y la formación del Mundo.

En este contexto, el Hombre era considerado como un ser natural más de los muchos que pueblan el Cosmos. A este concepto se suman la escuela de Mileto, la Pitagórica, la Elea y la Atomista. En la primera es de destacar Tales de Mileto (624-546 a. J.C.), pionero en plantear el problema del Principio Único o naturaleza de las cosas, dándole una solución: "el agua", probablemente, según Aristóteles, debido a que el agua es el principio de fecundidad; donde no hay agua no hay vida. Sin embargo, habrá que esperar a Anaximandro (siglo VI a. J.C.), amigo del anterior y más joven que él, para llegar al concepto del APEIRÓN (lo infinito), "como principio inagotable de todas las cosas que salen de él, por los torbellinos creados en el movimiento eterno que anima a esta materia inagotable y homogénea en su indeterminación, y a la vez ingenerada e imperecedera". Nos encontramos con una teoría altamente avanzada, si se compara con la ingenuidad de Tales. Esta idea genérica podría haber dado nacimiento a una espectacular especulación, pero cayó en el vulgarismo, hasta el extremo de que Anaxímenes (585-524 a. J.C.) identifica el Apeiron con el aire.



Tales de Mileto es considerado el primero de los filósofos de la historia, además de ser el primer filósofo jonio y el primero, y más famoso, de los Siete Sabios de Grecia (el sabio astrónomo). Fue el iniciador de la indagación racional sobre el universo. Pitágoras fue discípulo y protegido suyo. Su lectura era obligatoria para cualquier matemático en la Edad Media. Sus trabajos se dedicaron a la Geometría, al Álgebra Lineal y a algunas ramas de la Física, como la Estática, Dinámica y Óptica. Su vida es prácticamente desconocida.

Mileto (Jonia, Asia Menor) 639 ó 624 a. J.C. - 547 ó 546 a. J.C.



Anaximandro, filósofo jonio como el anterior y discípulo suyo. Se le atribuye un libro sobre la Naturaleza, aunque sus ideas nos han llegado a través de los comentarios

doxográficos de otros autores. Se le atribuye un mapa terrestre, la medición de los solsticios y equinoccios por medio de un gnomon, trabajos para determinar la distancia y tamaño de las estrellas y la afirmación de que la Tierra era cilíndrica y ocupaba el centro del Universo.

Mileto (Jonia, Asia Menor), 610 a. J.C. - aproximadamente 546 a. J.C.

Anaximandro, detalle de "La escuela de Atenas", Pintura de Rafael Santi (1511), Vaticano, Roma.

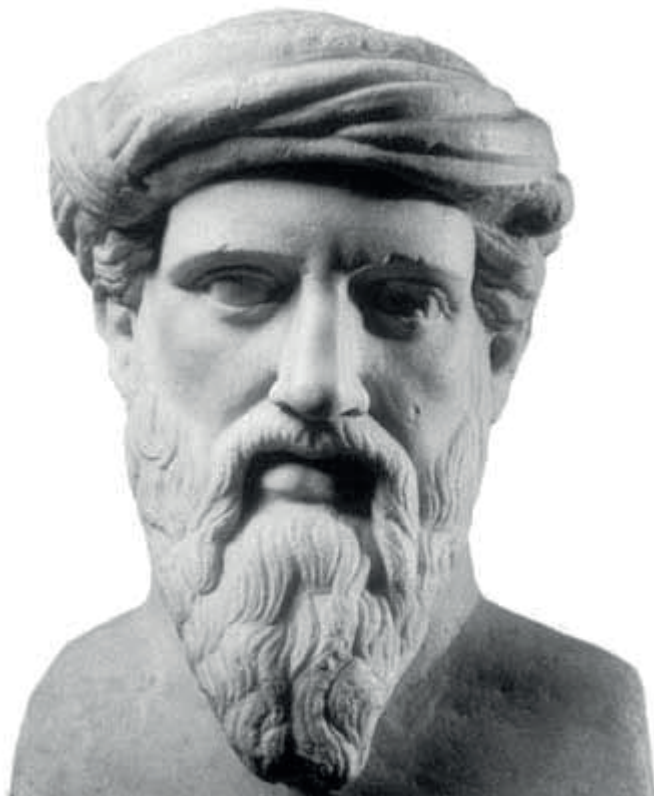


Anaxímenes de Mileto, hijo de Eurístrato, fue discípulo y compañero de Anaximandro, y coincide con él en que el principio de todas las cosas es infinito; aunque, a diferencia del inconcreto apeirón de aquél, nos habla de un elemento concreto: el aire. Esta sustancia, afirmaba, se transforma en las demás cosas a través de la rarefacción y la condensación.

Mileto (Jonia, Asia Menor) 585 a. J.C. - 524 a. J.C.

Los Pitagóricos, impulsores principales de las matemáticas, observaron grandes semejanzas entre los números y los fenómenos naturales. Son los primeros, históricamente hablando, en desarrollar una Física experimental. Así, por ejemplo, observaron que los diferentes sonidos de las cuerdas de la lira están en relación con la longitud de las mismas. Análogamente, los martillos, al golpear el yunque, producen sonidos en relación exacta a su peso. De esta forma enunciaron que los

números son el origen de todo y constituyen la sustancia de las cosas, y cada cosa tiene un número o relación numérica que la hace diferente a las demás. No andaban lejos de la formulación empírica, pero el gran sentido religioso de estos hombres, así como el carácter esotérico de su secta, les impidió ser los padres del progreso que tuvieron al alcance de su mano. Eso sí, gracias a ellos, la matematización de la Ciencia, para su mejor comprensión, fue un hecho, y no debemos olvidar que la Física avanzó verdaderamente cuando formuló matemáticamente las leyes de la Naturaleza.



Pitágoras de Samos , filósofo y matemático griego.

Isla de Samos 582 a. J.C. - Metaponto, Italia, 507 a. J. C. NOTA_8

Hasta llegar a los atomistas, los distintos filósofos se entretienen en obtener variantes de lo ya avanzado por sus antecesores. Esto parecía llevar a polémicas tan fuertes, que Zenón de Elea (490 a. J.C.- 430 a. J.C.), reconociendo que la mayoría de las teorías

en boga no eran aceptables por la experiencia común, se propuso demostrar a sus adversarios que tampoco las afirmaciones de la experiencia común eran aceptables por la razón. Resultado de ello son sus cuatro argumentos contra el movimiento
NOTA_1.



Zenón de Elea, filósofo griego nacido en Elea, inventó la demostración llamada ad/absurdum (deducción por reducción al absurdo), que toma por hipótesis las afirmaciones del adversario y muestra los absurdos a los que se llegaría si esas hipótesis fueran verdaderas, obligando al interlocutor, en última instancia, a aceptar la tesis opuesta a la que sostuvo en un principio.

Elea, 490 a. J.C.- 430 a. J.C.



Jenófanes de Colofón. Filósofo, poeta, crítico social y religioso, es considerado como el primer teólogo de la historia de la cultura, el primero en tratar el problema de Dios. Criticó el antropomorfismo de los dioses homéricos así como su inmoralidad y postuló la existencia de un Dios único. Fundó una escuela de filosofía en Elea, a la que pertenecen Parménides y Zenón.

Colofón (Asia Menor), 570 a. J.C. - 480 a. J.C.



Heráclito de Éfeso. Al igual que ocurre con los demás filósofos anteriores a Platón, no quedan de sus obras más que algunos fragmentos y sus contribuciones se conocen gracias a testimonios de filósofos posteriores.

Éfeso (Jonia, Asia Menor), 544 a. J.C. - 484 a. J.C.

Posteriormente existe un intento de unificación de las diferentes teorías y se toman la tierra, el agua, el aire y el fuego como los cuatro principios básicos que anteriormente habían constituido los elementos únicos para las distintas escuelas. Así Empédocles (siglo V a. J.C.) reagrupó las ideas dispares de Jenófanes (570 - 480 a. J.C.), Tales (624-546 a. J.C.), Anaxímenes (585-524 a. J.C.) y Heráclito de Éfeso (544 - 484 a. J.C.), olvidando, desgraciadamente, al más avanzado de los filósofos griegos, Anaximandro (610 - 546 a. J.C.). Por consiguiente, no es un fenómeno nuevo que la Ciencia establecida anatematice teorías que con el tiempo llegan a ser los pilares de las doctrinas más avanzadas. De esta misma forma, Anaxágoras (siglo V a. J.C.), otro de los pluralistas, fue perseguido por impío al aventurar que el Sol no era un Dios sino una piedra incandescente. Fue este "físico" quien introdujo la siguiente idea: "nada se crea de la NADA ni vuelve a ella, sino que las cosas se componen de cosas ya existentes", dando paso así a la escuela atomista.



Empédocles de Agrigento introdujo los cuatro elementos naturales: fuego, agua, aire y tierra, como raíces inalterables de todo lo existente. NOTA_9

Agrigento, (Sicilia), 495/490 a. J.C. - 435/430 a. J.C.

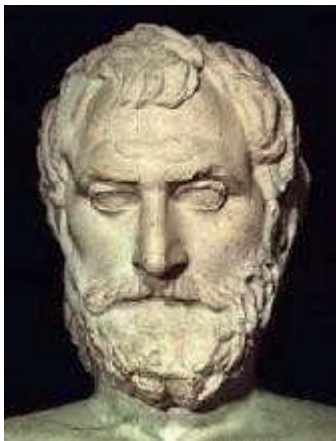


Anaxágoras, filósofo presocrático que se trasladó a Atenas entre el 483 y el 455 a. J.C. Entre sus alumnos se suponen: el estadista Pericles, Arquelaos, Protágoras de Abdera, Tucídides, el dramaturgo Eurípides, Demócrito y Sócrates. Introdujo la noción de nous (mente o pensamiento) en la filosofía de los orígenes; sus predecesores habían considerado como realidad última los cuatro elementos (tierra, aire, fuego, agua).

Clazomenae (actual Turquía), 499 a. J.C.- Lampsacus, Mysia (actual Turquía) 428 a. J.C.

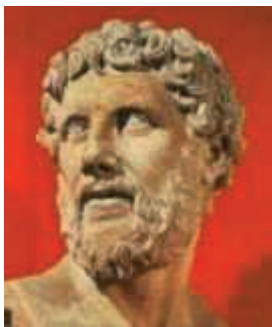
Junto con Anaximandro (610 - 546 a. J.C.) y los pitagóricos, Leucipo y Demócrito (siglo V a. J.C.) son los precursores de la Física como Ciencia en sí que estudia las

leyes de la Naturaleza. Ellos son los primeros en avanzar la naturaleza microscópica de las cosas y, considerando la época tan temprana en que vivieron, son de admirar las conclusiones de su pensamiento, privado, casi por completo, de experiencias que pudieran corroborar sus teorías.



Leucipo, filósofo del que se conoce muy poco de su vida NOTA_10

Se desconoce con certeza el lugar de su nacimiento (pudo ser Abdera, Melos, Mileto, Elea o Clazomene) 460 a. J.C. - Abdera, 370 a. J.C.



Demócrito de Abdere fue contemporáneo de Sócrates. A pesar de las fechas que figuran al pie de esta nota, casi todos los autores aseguran que vivió más de 100 años (109, afirma Hiparco de Nicea, siguiendo a Diógenes de Laertes). Era conocido por su carácter extravagante (según algunos relatos solía reír muy a menudo) y escribió más de 70 obras en temas tales como ética, física, matemática, técnica y música, por lo que Demócrito es considerado un autor enciclopédico.

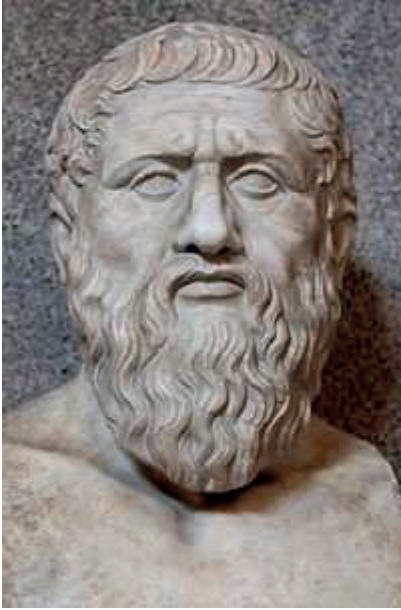
Abderea 460 a. J.C.- 370 a. J.C.

Los pensadores griegos fueron, como hemos comentado, fundamentalmente teóricos. Sin embargo, pese a no estar muy lejos de dar con la clave de la realidad natural, sus teorías tuvieron poca repercusión posterior. Así, la llamada teoría atomista de Demócrito (460 - 370 a. J.C.), según la cual los cuerpos estarían compuestos por pequeñas partículas indivisibles que denominó átomos (indivisible en griego), cayó en desgracia. En otros casos, por el contrario, llegaron a tener efectos negativos en el desarrollo científico, como las ideas de Aristóteles (siglo IV a. J.C.) sobre el movimiento de los cuerpos celestes y objetos terrestres que, profundamente erróneas, se mantuvieron como dogmas de fe durante siglos.



Aristóteles el estagirita es considerado el más grande de los filósofos de la antigüedad e incluso el más grande de los filósofos occidentales de la historia. Discípulo de Platón y preceptor de Alejandro Magno, fue el precursor de la anatomía y la biología y un creador de la taxonomía.

Estagira (Macedonia) 384 a. J.C. - Calcis (Eubea, Grecia) 322 a. J.C.



Platón, fundador de la Academia de Atenas, discípulo de Sócrates y maestro de Aristóteles. NOTA_11

Atenas o Aegina 428 a. J.C. - 427 a. J.C.

No obstante, debemos señalar que la concepción cosmogónica de Aristóteles no es más que una de las múltiples representaciones inductoras de las especulaciones pitagóricas. Por ejemplo, Philolaos (480 - 385 a. J.C.) NOTA_2, un pitagórico anterior a Aristóteles, hacía girar la Tierra alrededor de un fuego central. Heráclides del Ponto (390 - 310 a. J.C.) NOTA_3, discípulo de Platón (427 - 347 a. J.C.) y contemporáneo de Aristóteles (384 - 322 a. J.C.), hacía girar sobre su eje a una Tierra inmóvil, respecto a un movimiento de traslación, en relación con las estrellas. Aristóteles fue partidario del geocentrismo, pero no porque tal solución sea la de más sentido común, pues en su tratado sobre "el Cielo" escribe: "Es una necesidad que la Tierra esté en el centro del Mundo y permanezca allí inmóvil, como lo prueba el hecho de que los cuerpos pesados, al ser lanzados hacia arriba, caigan sobre su punto de lanzamiento". Por lo tanto, aunque el argumento sea incorrecto, lo que impele al autor a elegir el geocentrismo, eliminando por no válidas otras hipótesis contemporáneas o anteriores a él, es la falta de pruebas empíricas directas.

El más grande físico griego fue, sin duda, Arquímedes (287-212 a. J.C.) quien, en la colonia helena de Siracusa (Sicilia, Italia), un siglo después de Aristóteles, desarrolló las leyes de la palanca, ideó una teoría para determinar el centro de gravedad de los cuerpos, fundó la Estática e impulsó definitivamente la Hidrostática con sus estudios sobre la flotabilidad de los cuerpos. Al contrario que sus contemporáneos, Arquímedes utilizó el método experimental, realizó grandes invenciones de ingeniería para aplicaciones en agricultura, minería, etc., e incluso llegó a diseñar dispositivos de tipo bélico (se cuenta de un espejo cóncavo que concentró los rayos solares para incendiar las velas de la flota enemiga en el puerto de Siracusa).

También puede considerarse a Arquímedes un gran matemático. Aplicando el razonamiento y los métodos matemáticos, llegó a establecer muchos principios de la mecánica, aceptados incluso hoy día. No olvidemos tampoco que fue él quien calculó con gran aproximación la relación entre la longitud de una circunferencia y el diámetro de la misma.



Arquímedes, hijo del astrónomo Fidias, quien probablemente le introdujo en las matemáticas, se formó en Alejandría como discípulo de Conón de Samos, donde entró en contacto con Eratóstenes, a quien dedicó su Método. Regresó a Siracusa donde desarrolló toda su labor científica, por la que es considerado como el más grande físico, matemático y geómetra de la antigüedad (principio de Arquímedes,

aportes a la cuadratura del círculo, leyes de la palanca, tornillo de Arquímedes, espiral de Arquímedes y trabajos en matemática, ingeniería y geometría).

Siracusa, Sicilia, 287 a. J.C. - 212 a. J.C.



Claudio Ptolomeo (en español Tolomeo), autor del tratado astronómico conocido como *Almagesto* (El gran tratado, sólo disponible en manuscritos árabes y en la traducción al latín de Gerardo de Cremona, desde el siglo XII), vivió y trabajó en Alejandría a la sombra de su gran biblioteca. Geógrafo, matemático, astrónomo y, lo normal en aquella época, astrólogo, su obra tuvo gran influencia en la concepción del Universo durante toda la Edad Media.

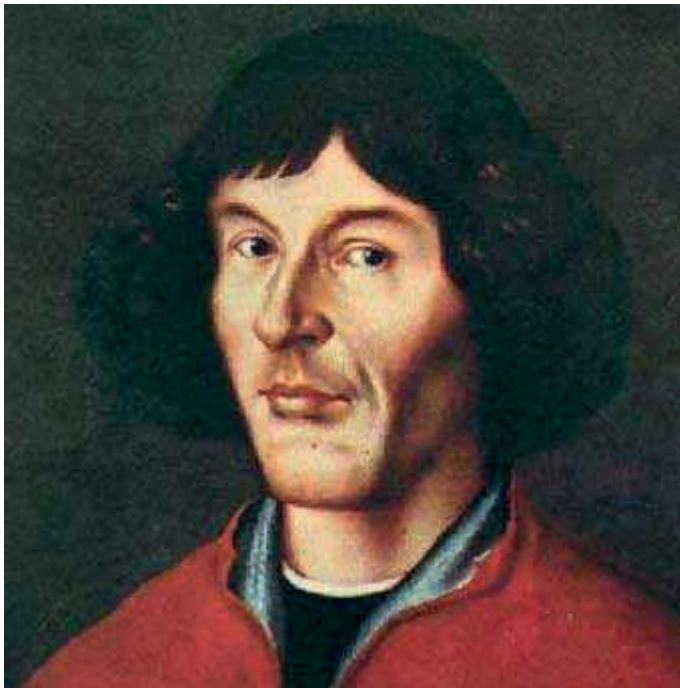
Tolemaida, Tebaida, 85 - Cánope, 165; otros autores suponen 100 - 170.

La invasión romana, un pueblo eminentemente guerrero y en expansión territorial para abastecer su despensa, frena el desarrollo científico y debemos dar un salto, hasta el siglo II, para encontrar una mente dedicada a la Física, Ptolomeo (85 - 165 d. J.C.).

3. Edad Media, Renacimiento y Mundo Moderno

Se ha dicho reiteradamente que ni los romanos, ni los árabes, ni el mundo cristiano de la Edad Media hicieron otra cosa que mantener y difundir las ideas heredadas de los griegos. Es cierto que la ciencia árabe y judía, filtrada al pensamiento cristiano a

través de la islamización de la Península Ibérica, está inspirada en Aristóteles, pero se produjeron grandes polémicas que ayudaron a dar libre curso al pensamiento y prepararon el terreno a los científicos posteriores como Copérnico (1473-1543), Leonardo (1452-1519) y Kepler (1571-1630), dando lugar, en el siglo XIII, al nacimiento de las Universidades. Es en España, en los siglos X y XI donde, en alguno de los monasterios del norte de la península, se realizan los primeros contactos con la ciencia árabe, que proviene directamente de Alejandría, a través de los mozárabes emigrados. Más tarde, el foco de transmisión cultural fue Toledo, gracias a la fecunda Escuela de Traductores.



Nicolás Copérnico, fue uno de los eruditos de la Revolución Científica del Renacimiento (matemático, astrónomo, jurista, físico, clérigo católico, gobernador, administrador, líder militar, diplomático y economista; la astronomía era para él poco más que una distracción). La palabra Revolución ha pasado al lenguaje ordinario, con el significado de cambio drástico en las instituciones o dogmas establecidos, por su libro "De Revolutionibus Orbium Coelestium" (de las

revoluciones de las esferas celestes), en el que formuló la primera teoría Heliocéntrica válida del Sistema Solar, punto inicial de la astronomía moderna.

Torun (Polonia), 19 de febrero de 1473 - Frombork (Polonia), 24 de mayo de 1543.



Leonardo di Ser Piero da Vinci, arquitecto, escultor, pintor e ingeniero (con numerosas y futuristas invenciones en su haber), es el hombre del Renacimiento por excelencia. Además de ser considerado como uno de los más grandes pintores de todos los tiempos, es la persona con más y más variados talentos de la historia. Se dice que murió en brazos de Francisco I, Rey de Francia. Su tumba se encuentra en el castillo de Amboise, junto al río Loira.

Anchiano, Italia, 15 de abril de 1452 - Castillo de Clos-Lucé Francia, 2 de mayo de 1519.



Johannes Kepler es la figura clave en la revolución científica renacentista por sus leyes sobre el movimiento de los planetas en su órbita alrededor del Sol, desarrolladas a partir del ajuste de la órbita de Marte a los extraordinariamente precisos datos de Tycho Brahe (que robó a la muerte de éste, según la leyenda, pues la familia se negaba a proporcionárselos). Enseñaba matemáticas, actividad que abandonó por la frustración que le producía, y se convirtió en el astrónomo por excelencia, aunque, para ganarse la vida, también hacía cartas astrológicas.

Weil der Stadt (Alemania), 27 de diciembre de 1571 - Ratisbona (Alemania), 15 de noviembre de 1630.

Las tesis de Aristóteles, introducidas por las traducciones árabes, despertaron interés y curiosidad en todos, aunque, mientras unos las recibían con simpatía, otros lo hacían con hostilidad. Muchas veces sus teorías fueron tergiversadas por desviaciones y mistificaciones de los filósofos musulmanes, hasta tal punto que se confundían las tesis del griego con los comentarios de Averroes (1126-1198), quien, dicho sea de paso, tampoco se libró de la persecución por parte de la Ciencia institucional. Por estas razones, las doctrinas aristotélicas chocaron con la actitud de la Iglesia. El concilio de Sens en 1210 anatematizó los libros de Filosofía Natural de Aristóteles. Sin embargo, la prohibición cayó en desuso y San Alberto Magno (1193 -

1280) y Roger Bacon (1214 - 1294) explicaron dichos libros en sus cátedras de la Universidad de París.



Averroes (en árabe Abul-Walid Muhammad ibn Ahmad ibn Muhammad ibn Rushd), filósofo y médico andalusí, maestro de matemáticas y leyes islámicas. Su nombre también puede encontrarse escrito como Averroës o Averrhoës.

Detalle del fresco de El Triunfo de Santo Tomás (Andrea de Bonaiuto), con la imagen pensativa de Averroes, apoyado en un libro de Aristóteles.

Córdoba (España, en la época Al-Andalus), 1126 - Marrakech (Marruecos), 10 de diciembre de 1198.



San Alberto Magno fue un destacado teólogo, filósofo y hombre de ciencia. Su humildad y pobreza fueron ejemplares. Fue nombrado por la Iglesia patrón de la Ciencia.

Lauingen, (Baviera, Alemania), 1193/1206 - Colonia (Alemania), 15 de noviembre de 1280.



Roger Bacon apodado el Doctor Mirabilis (Doctor Admirable) es considerado, junto con Galileo, uno de los padres del moderno Método Científico, dando importancia capital al empirismo. Estaba muy al corriente de los avances científicos y filosóficos del mundo árabe. No obstante, algunos autores le acusan de estar anclado en las tradiciones alquímicas y el ocultismo. NOTA_12

Estatua de Roger Bacon en el Museo de Historia Natural de Oxford.
Ilchester (Inglaterra), 1214 - Oxford, 1294.

Los árabes cultivaron la física teórica e intentaron aplicarla a la construcción de aparatos. El avance más importante en esta materia lo dio Ibn-al-Haytham (siglos X-XI) en su Tesoro de Óptica, donde estudió los fenómenos luminosos como el halo y el arco iris. Describió la estructura del ojo y rectificó las teorías de Euclides (Siglo III a. J.C.) y Ptolomeo (Siglo II d. J.C.) sobre la visión -quienes creían que el ojo proyectaba luz sobre los objetos-, afirmando que la luz entra en el ojo procedente de ellos y su imagen se forma en la retina gracias al cristalino que funciona como lente. Formuló matemáticamente las leyes de la reflexión en espejos planos y curvos y extendió sus estudios a la refracción.



Al Haytam (en árabe Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham) hizo contribuciones a la física en general y la óptica en particular, la medicina en general y la anatomía, oftalmología y psicología en particular, astronomía, matemáticas, ingeniería, filosofía y teología. Pasa por ser el introductor del Método Científico en el mundo árabe.

Basra (Mesopotamia, Irán), 965 - 1039



Euclides fue un matemático griego, del que poco se conoce de su biografía. Lo poco que se sabe es a través de Proclo, uno de los últimos filósofos griegos. NOTA_13
300 ó 325 a. J.C - 265 a. J.C.



Al Juarizmi (en árabe Abu Ja'far Muhammad Ibn Musa Al-Juarizmi), matemático, astrónomo y geógrafo musulmán, estudió y trabajó en Bagdad en la primera mitad del siglo IX, en la corte del califa Al Mamun. Es considerado el más grande de los matemáticos de su época, padre del Álgebra e introductor de nuestro sistema de numeración. Su nombre y el de su legado proviene de su principal obra: Hisab al-jabr w'al-muqabala (álgebra, guarismo y algoritmo).

Un sello de la antigua URSS dedicado a Al Juarizmi.

Khwarizm (actual Khiva, en Uzbekistán, Persia) pronunciado Juarizm, situada al sudeste del Mar de Aral, en la vieja ruta de la seda 780 – 850.



Diofante es un matemático griego famoso por sus trabajos en teoría de números. Pertenece a la escuela de Alejandría y de su obra se conservan: *Los Números Poligonales*, de escasa repercusión y *Las Aritméticas*, que le dieron la fama. Existe una colección de teoremas (Porísmata) de las que sólo conocemos el nombre y las referencias del propio autor en otras de sus obras.

Portada de su obra editada en 1621.

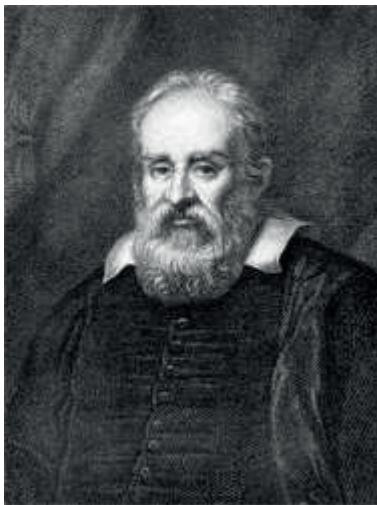
Se ignoran los lugares y las fechas de nacimiento y muerte. Se supone 200 - 284 d. J.C.

La Matemática, como ayuda de la Física, fue también ampliada por los árabes. De todos es conocida la introducción del actual sistema de numeración de Al-Juarizmi (780 - 850). El álgebra continuó, en el siglo XIII, los balbuceos iniciados por Diofante (200 - 284), aunque todavía no se lograra eliminar una incógnita entre dos ecuaciones y para ello se debiera recurrir a la Geometría.

A partir de Galileo (1564-1642), genial italiano nacido en Florencia, la historia de la Física va unida directamente a la descripción de los fenómenos y las leyes que obedecen. Efectiva y justamente, Galileo es considerado el padre de la Física y, sobre todo, junto con Roger Bacon, el padre del Método Científico moderno.

No tiene mucho sentido realizar con detenimiento una revisión histórica de los descubrimientos y aportaciones a partir del Renacimiento; ello supondría escribir un auténtico tratado de historia de la Física. Si bien hay nombres anteriores que no se pueden olvidar, y, de alguna manera, conforman lo que van a ser las contribuciones de Galileo. Éste tuvo como mérito principal el destacar la importancia del método experimental. Le corresponde el honor de luchar denodadamente contra las ideas de su época, dominadas aún por la filosofía aristotélica. Sus aportaciones a la Mecánica, Óptica, Astronomía, etc., fueron decisivas para el posterior desarrollo de estas ramas de la Física. Y, lo más importante, expresó en forma clara, concisa y estructurada lo

que otros ya habían insinuado antes que él. A este respecto no se puede olvidar a Leonardo da Vinci (1452-1519), Copérnico (1473-1543), Domingo de Soto (1494 - 1570) y Johannes Kepler (1571-1630), entre otros, que pusieron los pilares del método científico actual.



Galileo Galilei, insigne renacentista estrechamente implicado en la revolución científica de la época, aportó grandes ideas a la astronomía, filosofía, matemática y física; También mostró interés por casi todas las demás ciencias y las artes (música, literatura, pintura). Sus trabajos más sobresalientes son: el enunciado del principio de inercia, la mejora del telescopio, instrumento con el que realizó gran variedad de observaciones astronómicas, y el apoyo al movimiento copernicano, lo que le valió ser procesado por la Inquisición y condenado a arresto domiciliario.

Pisa, 15 de febrero de 1564 - Florencia, 8 de enero de 1642.

Sin lugar a dudas, uno de los mayores genios de la Física es el inglés Isaac Newton (1643 - 1727), quien, a partir de los conocimientos de su época, desarrolló la gran obra de fundamentación teórica de los fenómenos físicos: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1686). Ella constituye la base de la Mecánica Clásica y ha perdurado hasta nuestros días pues, aunque la Mecánica Cuántica y las teorías relativistas han revolucionado, de nuevo, los principios de la Física, la mecánica newtoniana nos

permite poner un hombre en la Luna. Los métodos de Newton se aplicaron a todos los campos de la Física y muy en particular a la Óptica.



Sir Isaac Newton descubrió la Ley de Gravitación Universal, que revolucionó la concepción del Cosmos, y estableció las bases de la Mecánica Clásica mediante las leyes que llevan su nombre. Sin embargo, sus trabajos sobre la naturaleza de la luz, su tratado de óptica y el desarrollo (paralelamente a Leibnitz) del cálculo infinitesimal son suficientes para considerarle el más grande científico de todos los tiempos.

Newton nació en las primeras horas del 25 de diciembre de 1642 (4 de enero de 1643, según el calendario gregoriano) en Woolsthorpe (Lincolnshire, Inglaterra) - Kensington (Londres, Inglaterra), 31 de marzo de 1727.



Christiaan Huygens, físico y matemático, además de por su principio sobre la propagación de las ondas, es famoso por su polémica con Newton acerca de la naturaleza de la luz; mientras éste aseguraba que se trataba de partículas emitidas por los cuerpos, Huygens afirmaba que la luz era un fenómeno ondulatorio. La polémica quedó zanjada definitivamente por De Broglie.

La Haya (Holanda), 14 de abril de 1629 - La Haya 8 de julio de 1695

Durante el siglo XVIII se llevaron a cabo los primeros descubrimientos serios en el área de la electricidad, pero fue en el siglo XIX, gracias a la invención de la pila eléctrica por Volta (1745 - 1827), cuando este campo adquirió su auténtica dimensión. Oersted (1777 - 1851), Ampère (1775 - 1836) y Faraday (1791 - 1867) iniciaron el desarrollo del electromagnetismo que culminó con el establecimiento de las ecuaciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos por Maxwell (1831 - 1879). Este último indicó, además, que una acción eléctrica o magnética se propaga como una onda, cuya velocidad, deducida de sus ecuaciones, coincide con la velocidad de la luz. Dando un paso más, afirmó que las ondas electromagnéticas y luminosas eran de la misma naturaleza, incluyendo así la luz como un fenómeno electromagnético más. Esta teoría, confirmada en 1888 por Hertz (1857 - 1894), es la causa directa del gran desarrollo tecnológico, sobre todo en comunicaciones, del siglo XX.



Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, de madre noble y padre de la alta burguesía, fue educado en Humanidades pero después optó por dedicarse a la Física. Se le conoce por la invención de la pila eléctrica.

Como (Lombardía, Italia), 30 de febrero de 1745 – 5 de marzo de 1827.



Hans Christian Ørsted demostró la relación entre la electricidad y el magnetismo, en un experimento (1820), que hoy se nos presenta como muy sencillo, llevado a cabo ante sus alumnos, consistente en la desviación de una aguja imantada en presencia de una corriente eléctrica. Estuvo muy influenciado por el pensamiento alemán de Emmanuel Kant.

Rudkøbing (Dinamarca), 14 de agosto de 1777 – Copenhague, 9 de marzo de 1851.



André-Marie Ampère, matemático y físico francés, es considerado como uno de los padres del electromagnetismo. Su teorema sobre las relaciones entre los campos eléctricos y magnéticos dio el espaldarazo final a los conocimientos de la época y dio pie a Maxwell para enunciar su teoría electromagnética.

Poleymieux-au-Mont-d'Or (Francia), 20 de enero de 1775 - Marsella, 10 de junio de 1836.



Michael Faraday contribuyó de forma decisiva a desarrollar el electromagnetismo, mediante un descubrimiento que ha resultado fundamental para el desarrollo tecnológico de la sociedad actual (se podría considerar el mayor descubrimiento de todos los tiempos): un campo magnético variable produce una corriente eléctrica en

un circuito cerrado. Éste es el fundamento de transformadores, motores y generadores (entre otros).

Londres, 22 de septiembre de 1791 - Londres 25 de agosto de 1867.



James Clerk Maxwell desarrolló completamente la Teoría Electromagnética y proporcionó el conjunto de ecuaciones que expresan las leyes básicas de la electricidad y magnetismo, demostrando así que la luz era una onda electromagnética. También es conocido por sus trabajos en la teoría cinética de gases (estadística de Maxwell-Boltzmann).

Edimburgo (Reino Unido), 13 de junio de 1831- Cambridge (Reino Unido), 5 de noviembre de 1879.



Heinrich Rudolf Hertz fue el primero en demostrar (1888) la existencia de la radiación electromagnética, prevista por Maxwell, construyendo un aparato para producir ondas de radio. También descubrió el efecto fotoeléctrico, explicado más tarde por Einstein. Su nombre va unido a la unidad de frecuencia del Sistema Internacional: hercio o hertz.

Hamburgo (Alemania), 22 de febrero de 1857 – Bonn (Alemania), 1 de enero de 1894.

El siglo XIX fue también prolífico en otras ramas de la Física. La Termodinámica, cuyo precursor fue Carnot (1796 - 1832), fue desarrollada por Mayer (1814 - 1878), Clausius (1822 - 1888) y Kelvin (1824 - 1907), entre otros. En este siglo, además, se llevaron a cabo descubrimientos como los Rayos X por Roentgen (1845 - 1923) y la radiactividad natural por Becquerel (1852 -1908) y se obtuvieron las primeras pruebas de la existencia del electrón, gracias a los experimentos con el tubo de rayos catódicos. De estos estudios se ha derivado tan gran número de aplicaciones prácticas, que podemos suponer el XIX como el siglo del despegue la Física, por haberse desprendido de los prejuicios anteriores que comenzó a socavar Galileo, minó Newton y se esfumaron definitivamente en los comienzos del siglo XX.

Nicolas Léonard Sadi Carnot, hijo de Lazare Carnot, conocido como el Gran Carnot, estudió en la Escuela Politécnica francesa (en la imagen se le vestido con el uniforme

de la Escuela) y es considerado el pionero en el estudio de la termodinámica. Fue tío de Marie François Sadi Carnot, Presidente de la República Francesa.

París, 1 de junio de 1796 - 24 de agosto de 1832.

Julius von Mayer, primero en comprobar la transformación de trabajo mecánico en calor, y viceversa y en enunciar el Principio de Conservación de la Energía.

NOTA_14

Heilbronn (Alemania), 25 de noviembre de 1814 - Heilbronn, 20 de marzo de 1878.

Rudolf Julius Emmanuel Clausius. Su trabajo contribuyó a uno de los enunciados de la Segunda Ley de la Termodinámica (1850). Acuñó el concepto de entalpía e introdujo el concepto de entropía (1865). NOTA_15

Koszalin (Prusia), 2 de enero de 1822 - Bonn (Westfalia), 24 de agosto de 1888.

William Thomson, primer barón de Kelvin. Gran conocedor del análisis matemático, su trabajo produjo importantes avances en termodinámica y electrónica y llevó a la Física a su formulación moderna. Es famoso por haber desarrollado la escala de temperatura Kelvin. Recibió el título de barón Kelvin para premiar su trabajo científico.

Belfast (Irlanda), 26 de junio de 1824 - Largs (Ayrshire, Escocia), 17 de diciembre, 1907.

Wilhelm Conrad Röntgen, profesor de la Universidad de Würzburg, que el 8 de noviembre de 1895 descubrió los llamados Rayos X. Por ello fue nombrado Doctor Honorario en Medicina por la propia Universidad de Würzburg.

Lenep (Alemania), 27 de marzo de 1845 - 10 de febrero de 1923.

Antoine Henri Becquerel, hijo de Alexandre-Edmond Becquerel (inventor de la fosforoscopia) y nieto de Antoine César Becquerel (uno de los fundadores de la

electroquímica) estudió en la Escuela Politécnica y, en 1896, descubrió accidentalmente, durante su investigación sobre la fluorescencia, la radioactividad natural. Fue galardonado con el Premio Nobel de Física del año 1903.

París, 15 de diciembre de 1852 - Le Croisic (Francia), 25 de agosto de 1908.

Llegados a este punto no se puede silenciar lo que muchos autores olvidan destacar, por la gran cantidad de descubrimientos que abruman a quien se aventura por el camino de la historia del pensamiento científico entre los siglos XVIII y XIX. Nos referimos a la aparición de la fotografía, otro de los fenómenos físicos plasmado en aplicación práctica. Ello ha supuesto avances espectaculares en todas las Ciencias sin excepción. Para la Física en particular, por citar una de sus primordiales contribuciones, hizo posible el desarrollo del análisis espectral y sus consiguientes consecuencias para la Física Atómica. Pero, sobre todo, al aplicarlo al estudio de los astros, dio lugar a una nueva rama que enlazó la Astronomía con el método científico propio de la Física: la Astrofísica.

4. La Física Contemporánea

Durante el siglo XX, la Física ha dedicado la mayor parte de su esfuerzo a desentrañar los misterios del mundo microscópico, de las partes más íntimas de la materia, a la vez que se embarcaba en estudios profundos sobre el origen y el estado del Universo, hasta los confines de la percepción con telescopios y radiotelescopios de enormes dimensiones.

En relación con la física microscópica, el siglo se inició con las hipótesis de Planck (1858-1947) sobre la naturaleza corpuscular de la radiación de la energía electromagnética. La Física Clásica había asistido a una discusión entre Newton y Huygens sobre la naturaleza de la luz emitida por los objetos. Mientras el primero sostenía el carácter corpuscular de los rayos luminosos, el segundo consideraba la luz

como una onda o conjunto de ondas. El siglo XIX, gracias a la teoría de Maxwell y el estudio de los fenómenos puramente ondulatorios de la luz, como la difracción, polarización e interferencias, parecía haber puesto punto final a la disputa, y toda la comunidad científica se rindió ante la evidencia del carácter ondulatorio de la radiación electromagnética. No obstante, aparecieron, tras los experimentos de Rayleigh (1842 - 1919), discrepancias en la aplicación del modelo a la radiación de un cuerpo caliente.



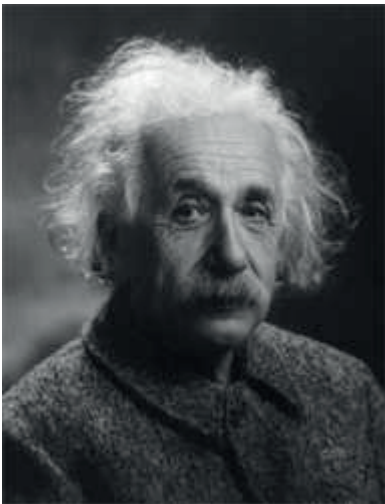
Max Karl Ernst Ludwig Planck es considerado el padre de la teoría cuántica. Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1918.

Kiel (Alemania), 23 de abril de 1858 - Gotinga (Alemania), 4 de octubre de 1947.



John William Strutt Rayleigh, tercer barón de Rayleigh. Estudió en la Universidad de Cambridge, en la que ocupó la cátedra Cavendish de física experimental (1879-84). Desde 1892 hasta 1901 actuó como gobernador de Essex y fue canciller de la Universidad de Cambridge desde 1908 hasta su muerte.

Langford Grove (Essex, U.K.), 1842 - Witham (Essex, U.K.), 1919.



Albert Einstein es el científico más famoso del siglo XX; hasta el público desconocedor de las leyes de la Física es capaz de escribir la expresión matemática de equivalencia entre masa y energía, $E = m c^2$, deducida por Einstein como una consecuencia de su Teoría de la Relatividad Especial. NOTA_16

Ulm (Württemberg, Alemania) 14 de marzo de 1879 - Princeton (New Jersey, USA), 18 de abril de 1955.

Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie, pertenecía a una de las familias más distinguidas de la nobleza francesa y le correspondía el título de príncipe. Fue profesor de física teórica en la Universidad de París, miembro de la Academia Francesa, Secretario permanente de la Academia de Ciencias (1942) y consejero de la Comisión de Energía Atómica Francesa (1945). Fue galardonado en 1929 con el Premio Nobel de Física, por su descubrimiento de doble naturaleza ondulatoria y corpuscular de la materia, conocida como Principio de Dualidad o Principio de De Broglie.

Dieppe (Francia), 15 de agosto de 1892 - París, 19 de marzo de 1987.

En 1905 Einstein (1879 - 1955) explicó el fenómeno fotoeléctrico asumiendo un carácter corpuscular para la luz, es decir, suponiendo que, en realidad, era un conjunto de paquetes de energía localizada y no una onda continua, como las observadas habitualmente en la superficie de un lago. Se trataba, por tanto, de algo discreto, de "cuantos" (cantidades pequeñas pero no infinitesimales). Pero, entonces, ¿qué pasaba? ¿Unas veces los experimentos cuadraban bien con una teoría ondulatoria y otras con un modelo corpuscular? ¿Llevaban razón Newton y Huygens a la vez? Parecía cosa de locos.

Correspondió a Louis De Broglie (1892 - 1987), aristócrata francés, la genialidad de "tirar por la calle de en medio": ni una cosa ni otra, sino todo lo contrario. Si la luz parece comportarse así, ¿no podría la materia hacer lo mismo? Esa fue la pregunta clave que se hizo De Broglie, dando una respuesta totalmente revolucionaria: las radiaciones electromagnéticas no eran ondas, ni eran partículas, la materia no estaba constituida por partículas, sino que éstas también podrían observarse como ondas, ¡todo era las dos cosas a la vez! Las experiencias confirmaron la hipótesis. Cada experimento realizado, ponía de manifiesto una naturaleza u otra, pero no se podía afirmar una única naturaleza ni para la luz, ni para la materia. Esto ocurría en 1923 y, más tarde, Schrödinger (1887 - 1961) escribió la ecuación que permitía estudiar el

carácter ondulatorio de la materia y predecir su comportamiento, dando nacimiento a la llamada Mecánica Ondulatoria o, también, Cuántica. Así quedó claro que, a frecuencias bajas, la radiación electromagnética se comportaba como una onda y, a frecuencias altas, como un corpúsculo, que recibió el nombre de fotón. La materia, por el contrario, parecía ser un corpúsculo a velocidades bajas y grandes tamaños y una onda a grandes velocidades y tamaños pequeños.

Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, uno de los padres de la Mecánica Cuántica, también realizó contribuciones en Termodinámica. Nacido austriaco y nacionalizado irlandés, fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1933, por su ecuación de las ondas de probabilidad cuántica (compartido con Dirac). Mantuvo una larga correspondencia con Albert Einstein, en la que propuso el experimento mental conocido como el gato de Schrödinger; en él se mostraban las paradojas e interrogantes desencadenados por la nueva física microscópica.

Viena, 12 de agosto 1887 - Viena, 4 de enero 1961.

Werner Karl Heisenberg, otro de los padres de la Mecánica Cuántica, es considerado uno de los mayores físicos del siglo XX. Bajo el régimen nazi dirigió el proyecto nuclear alemán. Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1932, por su descubrimiento de uno de los principios centrales de la Ciencia moderna: El Principio de Incertidumbre.

Würzburg (Alemania), 5 de diciembre de 1901 - Munich (Alemania), 1 de febrero de 1976.

Paul Adrien Maurice Dirac, es el tercer padre de la Mecánica Cuántica, a la que dio una formulación elegante y precisa; su texto es aún utilizado. Predijo la existencia del positrón (antipartícula del electrón). Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1933, compartido con Erwing Schrödinger.

Bristol (U.K.), 8 de agosto de 1902 - Tallahassee (Florida, USA) 20 de octubre de 1984.

Esta nueva perspectiva fue desarrollada, poco después, por Heisenberg (1901 - 1976) -quien introdujo su famosa relación de incertidumbre en la determinación simultánea de la velocidad y la posición de una partícula-, y por Dirac (1902 - 1984), acabando con el determinismo, en el sentido de suponer un comportamiento natural intrínseco de la materia totalmente aleatorio, fuera de toda posibilidad de predicción, microscópicamente hablando.

Paralelamente, las investigaciones sobre la estructura de los átomos progresaron gracias a Bohr (1885 - 1962), quien perfeccionó, utilizando la teoría recién nacida, un primer modelo -a base de electrones "planetarios" que giraban alrededor de un núcleo positivo-, ideado por Rutherford (1871 - 1937), y gracias a Sommerfeld (1868 - 1951), quien completó el modelo poco después.

Niels Henrik David Böhr, Premio Nobel de Física en 1922, realizó importantes contribuciones para la comprensión de la estructura del átomo y la mecánica cuántica.

Copenhague (Dinamarca), 7 de octubre de 1885 - Copenhague, 18 de noviembre de 1962.

Ernest Rutherford, barón Rutherford de Nelson y de Cambridge, es considerado el padre de la física nuclear. Descubrió las radiaciones alfa y beta y que la radiactividad natural iba acompañada por la desintegración de los elementos. Asimismo consiguió la primera transmutación artificial. Todo ello le valió el Premio Nobel de Química en 1908. Pero quizás su mayor contribución sea el descubrimiento de la existencia de un núcleo atómico, en el que se concentra toda la carga positiva y casi toda la masa del átomo.

Brightwater (Nueva Zelanda), 30 de agosto de 1871 - Cambridge (Reino Unido), 19 de octubre de 1937.

Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld demostró que los rayos X eran ondas electromagnéticas. Las ideas de Sommerfeld cambiaron las órbitas circulares del átomo de Niels Bohr por órbitas elípticas e introdujeron también los números cuánticos magnético e interno (1916).NOTA_17

Königsberg (Alemania) 5 de diciembre de 1868 - Munich (Alemania) 26 de abril de 1951.

No obstante, estos avances tenían una doble cara, pues cada vez quedaban más aspectos oscuros por aclarar y, si bien, desde el punto de vista matemático, las interpretaciones eran satisfactorias, desde el punto de vista conceptual, la Física se hacía cada vez menos intuitiva. Pero el éxito parecía asegurado: se encontraron nuevas partículas constituyentes del núcleo del átomo, como el protón y el neutrón, así como el positrón, una partícula idéntica al electrón pero de carga positiva, que parecía estar ausente en la Naturaleza pero aparecía en muchos de los experimentos. Además, estas partículas ¡se podían transformar unas en otras! Fermi (1901 - 1954) descubrió que el neutrón se desintegraba en un electrón y un protón con desprendimiento de energía NOTA_4. A partir de entonces, numerosas relaciones e interacciones entre las partículas descubiertas se han ido conociendo, a medida que los instrumentos se han perfeccionado, encontrándose muchas nuevas partículas elementales y demostrándose que, por cada una de ellas, siempre existía la correspondiente "antipartícula" NOTA_5, de masa idéntica pero propiedades eléctricas y microscópicas completamente opuestas.

Enrico Fermi es conocido, sobre todo, por el diseño y puesta en marcha del primer reactor nuclear. Durante la Segunda Guerra Mundial participó en el desarrollo de la bomba atómica en el laboratorio de Los Álamos, dentro del Proyecto Manhattan. Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1938.NOTA_18

Roma, 29 de septiembre de 1901 - Chicago, 28 de noviembre de 1954.

Las investigaciones nucleares son aún un campo totalmente abierto. Estamos muy lejos de haber dado con la clave, ni siquiera a nivel matemático, del comportamiento de las partículas elementales. Existen modelos que intentan dar una explicación racional a las piezas encontradas, pero, al contrario de lo sucedido en la Física Clásica, en vez de ser cada vez más simples y más intuitivos, son muchísimo más complicados y, en ellos, la intuición y el racionalismo se pierden por completo.

En relación con la física macroscópica, Einstein, en 1905, salió al paso de las dificultades que se tenían para explicar ciertos fenómenos, en relación con la velocidad de la luz medida por observadores en movimiento relativo. Al igual que un proyectil lanzado desde un avión en movimiento tiene una velocidad respecto del avión y otra (suma de la anterior y la del avión) respecto de tierra (para un observador fijo en el suelo), la velocidad de la luz proveniente de una estrella deberá tener velocidades diferentes según que se acerque o se aleje de nosotros. Arago (1786 - 1853) ya había realizado experimentos al respecto en 1810, encontrando resultados negativos. Maxwell había escrito una nota en la que exponía la necesidad de una extrema precisión en las medidas de la velocidad de la luz realizadas desde la Tierra. Michelson (1852 - 1931) ideó un experimento, (realizado en Postdam, en 1881), de acuerdo con la idea de Maxwell, y el resultado volvió a ser negativo. Ante las feroces críticas de sus contemporáneos, rediseñó el experimento con la ayuda de su amigo Morley (1838 - 1923) (esta vez en Cleveland, en 1887), y obtuvo el mismo resultado
NOTA_6.

François Jean Dominique Arago, matemático, físico, astrónomo y político francés. Algunos cráteres de Marte y la Luna, así como algunos anillos de Neptuno llevan su nombre.

Estagel (Francia), 26 de febrero de 1786 - 2 de octubre de 1853.

Albert Abraham Michelson es conocido por sus trabajos acerca de la velocidad de la luz. Recibió el Premio Nobel de Física en 1907.

Strzelno (Polonia), 19 de diciembre de 1852 - Pasadena (Estados Unidos), 9 de mayo de 1931.

Edward Williams Morley fue profesor de química en el Western Reserve College. Junto con Michelson realizó el experimento conocido como "Michelson-Morley", que demostraba que la luz tenía la misma velocidad para todos los observadores inerciales. Ninguno de los dos consideró válido el resultado más importante de la Física contemporánea. También hizo importantes contribuciones sobre la composición de la atmósfera terrestre, la expansión térmica y la velocidad de la luz en presencia de campos magnéticos.

Newark, (New Jersey, USA), 29 de enero de 1838 - West Hartford (Conn., USA), 24 de febrero de 1923.

Como hiciera De Broglie en el micromundo, Einstein zanjó las disputas, postulando la universalidad de la velocidad de la luz, es decir, no debía existir diferencia alguna entre la velocidad de la luz medida por dos observadores que se mueven uno respecto del otro a velocidad constante en módulo y dirección. Es decir, debe ser la misma para todos los observadores inerciales *NOTA_7*. Asimismo, elaboró una compleja teoría en la que, entre otras cosas, se predecía que tanto las distancias como los intervalos de tiempo eran relativos al observador. Es decir, la distancia entre dos ciudades y los tiempos entre dos sucesos son diferentes medidos por un observador en reposo que por otro en movimiento respecto de las ciudades o los sucesos. También se concluía que la masa de un cuerpo dependía de su velocidad y que, en realidad, masa y energía eran dos aspectos del mismo fenómeno.

Estas revolucionarias ideas, en su inicio muy combatidas, hoy se aceptan gracias a los muchos experimentos que las corroboran, si bien sólo son detectables a muy altas

velocidades, cercanas a la velocidad de la luz (aproximadamente 300.000 kilómetros cada segundo). Las leyes de la Física Clásica siguieron y siguen siendo válidas y de aplicación universal, como una aproximación del macromundo, para las velocidades que somos capaces de desarrollar los humanos con la tecnología actual.

En el campo de las aplicaciones de las teorías físicas, el siglo XX también ha sido muy prolífico: la energía nuclear, la electrónica (desde las válvulas de vacío a los transistores y circuitos integrados), los ultrasonidos, el láser, la holografía, la célula fotoeléctrica, la televisión, son algunas de las muchas puestas en escena de los fenómenos físicos descubiertos durante los dos últimos siglos.

5. Conclusión

Para finalizar esta revisión histórica, debemos hacer algunas consideraciones sobre el ya mencionado fenómeno explosivo del desarrollo de la Física y, en general, de la Ciencia contemporáneas. El científico ha dejado de trabajar aislado para formar equipos en los que se discute periódicamente y se sintetiza la labor individual. La información se multiplica y viaja a cualquier centro de investigación con rapidez desbordante incluso. Si bien la genialidad es rara, la agrupación de mentes normales puede dar lugar a la genialidad de grupo, fenómeno que es completamente nuevo por lo que respecta a la Ciencia contemporánea, pero que ya los pitagóricos habían adivinado. Si bien estas consideraciones son ciertas y hemos presenciado cómo la ruptura con lo establecido facilita el avance científico, en esta área todavía estamos en las mismas situaciones de antaño. El Hombre en general, y el científico en particular, admite con dificultad que lo construido por sus antepasados se derrumbe ante la genialidad de un contemporáneo que no sea él mismo, entre otras cosas, porque le es difícil cambiar de forma de pensar. Afortunadamente, la experiencia ha enseñado al Hombre de nuestros días que la renuncia a lo anterior puede proporcionarle más bienestar y felicidad. Por ello, no será de extrañar que, en los años venideros,

asistamos a una explosión científica mayor aún que la originada tras la Segunda Guerra Mundial y esperamos que esta vez sea en beneficio de la PAZ.

6. Notas

NOTA 1: Zenón de Elea (nacido el 490 a. J.C.), pasa por ser discípulo de Parménides (estudios recientes no parecen estar de acuerdo con este aspecto de su vida), y, al igual que Meliso, argumentó a favor y reforzó las teorías del maestro. Es famoso por sus polémicas y paradojas (aporías), como las que niegan el movimiento o la pluralidad del ser. Con ellas pretendía demostrar que, si las tesis de su maestro no eran aceptables para la experiencia común sensible, las de sus adversarios, quienes mantenían hipótesis más acordes con la experiencia cotidiana, como la multiplicidad y el movimiento, eran menos aceptables aún. Zenón trató de probar que el Ser tiene que ser homogéneo, único y, consecuentemente, que el espacio no está formado por elementos discontinuos, sino que el Cosmos es una única realidad. Ciertamente, Zenón intentaba poner en crisis la doctrina pitagórica del número como principio de la realidad. Las afirmaciones de Parménides eran, entre otras:

- a) El ser es y no es. Curiosamente, tesis parecida a las de la Mecánica Cuántica actual.
- b) Es lo mismo ser y pensar. Muy similar a la afirmación de Descartes, veintidós siglos después: Pienso, luego existo.
- c) El ser es idéntico a sí mismo en todas sus partes.
- d) El ser es ingenerado e imperecedero.
- e) El ser es inmóvil e inmutable.

Parménides pretendía que el ser lo es todo, el Universo completo, y no existe nada fuera de él que le permita un movimiento, un cambio. Si existiese movimiento o cambio en sí mismo, debería adquirir algo que no tenía o perder algo que tenía anteriormente. Así pues, el ser está en reposo eterno.

Frente a los que oponían el movimiento como experiencia real cotidiana, Zenón alegaba, en sus famosas aporías, contra él. La de Aquiles y la tortuga, la más famosa, se fundamenta en la infinita divisibilidad del espacio y el tiempo. Para aquella época, suponía un paso de gigante que se quedó en intento: haber dado con la clave del paso al concepto de infinitésimo, algo que es tan pequeño como queramos. Sus errores, que analizaremos seguidamente, le impidieron llegar al meollo de la cuestión, la cual debió esperar al siglo XVII y a Newton y Leibniz.

Si Aquiles, el campeón griego de la carrera, apuesta con una tortuga y le da una pequeña ventaja, jamás podrá alcanzarla. Supongamos que el héroe corre diez veces más rápido que la tortuga y la da diez metros de ventaja. Mientras Aquiles recorre esos diez metros, la tortuga habrá recorrido uno. Mientras Aquiles recorre ese metro, la tortuga habrá recorrido diez centímetros. Mientras Aquiles recorre ese decímetro, la tortuga habrá recorrido un centímetro más, etc., etc. De esta forma, la tortuga siempre llevará una ventaja a Aquiles, por pequeña que sea, la cual será la décima parte de la distancia recorrida por el campeón en el último tramo de la carrera. Cuentan las crónicas que, en cierta ocasión, Zenón discutía sobre el particular con Antístenes y éste, no sabiendo refutar los razonamientos de aquél, se levantó y se puso a andar diciendo; "El movimiento se demuestra andando".

Antístenes estudió retórica bajo Gorgias, Hippias y Pródico y fue el fundador de la escuela cínica. De padres tracios, aunque en buena posición económica, era considerado extranjero y ello marcó profundamente su vida. Se hizo discípulo de Sócrates y su entusiasmo por la disciplina socrática lo llevó a fundar una escuela en

el santuario y gimnasio de Cynosarges ("perro ágil"), probable origen del mote de cínicos ("similar al perro"). Debido a su dominio de la didáctica sus discípulos se contaban, sobre todo entre las clases populares. Su vestimenta (capa y báculo) se convirtió en el uniforme de la escuela.

Atenas, 444 a. J.C. - 365 a. J.C.

Un pequeño análisis del razonamiento de Zenón nos da enseguida la pauta de su error. Zenón considera que el intervalo de tiempo en que se hacen los cálculos es cada vez más pequeño, aunque no lo dice, pues el tiempo está ausente en su razonamiento. En tal caso, evidentemente, Aquiles nunca alcanzará a la tortuga, pues el tiempo considerado es, sumando los intervalos de tiempo cada vez más pequeños, el tiempo que el campeón tarda en ponerse a la altura de la tortuga. Es una suma de infinitos intervalos de tiempo que son cada vez más pequeños, dando, en total, un tiempo finito. Si Zenón hubiera hecho intervenir el tiempo, con intervalos infinitesimales, pero iguales, quizás hubiera dado con la llave del cálculo infinitesimal.

NOTA 2: Philolaos fue discípulo y transcriptor de Pitágoras y, probablemente, amigo y maestro de Demócrito. Se desconoce con certeza el lugar de su nacimiento (pudo ser Crotona, según Diógenes de Laertes, o bien Tarento o Heraclea) (480 a. J.C. - 385 a. J.C.), pero con seguridad vivía en Crotona durante la persecución de los pitagóricos y, posiblemente, fue el único superviviente del incendio de la Escuela. Obligado a huir constantemente, terminó refugiándose en Lucania y finalmente en Tebas. No obstante, volvió a Italia, donde fue maestro de Arquitas de Tarento. Empobrecido, se dice que, para subsistir, tuvo que vender los libros de la escuela pitagórica que poseía y que fue Platón el comprador. Sus tratados de Astronomía fueron utilizados por Aristóteles.

NOTA 3: Heráclides del Ponto (Heraclea 390 a. J.C. - 310 a. J.C.), fundó una escuela en su ciudad natal, a la que regresó tras la muerte de su maestro Espeusipo. Es

conocido por sus contribuciones a la Astronomía. Aseguraba que Venus y Mercurio giraban en torno al Sol, lo que explicaba su extraño movimiento errante en los Cielos. Adoptó también la teoría de Hiceta y Ecfanto que suponían el movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje, para explicar la rotación diurna de la esfera celeste. También afirmaba que el Universo era infinito y cada estrella un nudo en el mismo con sus correspondientes planetas y una Tierra (considerada ésta como un objeto cósmico especial). A pesar de haber dado casi con la clave de la composición del Universo, no tuvo apenas partidarios y sus ideas cayeron en el olvido.

NOTA 4: En realidad, faltaba algo de energía, con lo cual, o bien la energía no era conservada, o bien faltaba algo por descubrir. Efectivamente, ese "algo" no fue otra cosa que el neutrino, partícula sin carga, de difícil detección, responsable de la energía ausente.

NOTA 5: La idea de la existencia de las antipartículas, descabellada para muchos físicos de entonces, fue aventurada por Dirac en 1931; la primera, el positrón, se descubriría sólo un año más tarde.

NOTA 6: Michelson murió con la idea de haber fallado en la realización o diseño del experimento. Nunca se doblegó ante la evidencia de ser el autor de uno de los experimentos con resultado negativo más decisivos para el desarrollo de la Física. Lo mismo le ocurrió a Morley.

NOTA 7: Existen muchos textos en los que la idea primordial de Einstein está mal planteada. Se puede leer en alguno de ellos. "No debe existir diferencia alguna entre la velocidad de la luz medida cuando es emitida por un objeto acercándose o alejándose de nosotros". Si este hubiera sido el planteamiento, no hubiera dado lugar a discusión alguna, pues la afirmación es cierta para cualquier tipo de ondas y era un aspecto conocido de la época. La única diferencia apreciable en la propagación de

una onda cuando el emisor está en reposo respecto del observador y cuando el emisor se mueve respecto del observador, es un cambio en la frecuencia de la señal recibida. Este fenómeno conocido como efecto Doppler, está presente en la propagación electromagnética al igual que en cualquier otro tipo de onda.

El equívoco se debe a que, efectivamente, cuando lanzamos un objeto desde una posición en movimiento respecto de un observador (el lanzamiento de un proyectil desde un avión en pleno vuelo), el observador, tal como ya había descrito Galileo, medirá una velocidad para el objeto que es suma de la velocidad del objeto respecto del emisor (respecto del avión) y la velocidad con que el emisor se mueve respecto del observador (el avión respecto del observador en tierra). Este mismo fenómeno ocurre en la relatividad de Einstein, salvo que el resultado no es estrictamente una suma, interviniendo otros términos en la deducción final de la velocidad realmente observada.

No obstante si se emite una onda, ésta nunca es observada animada con una velocidad de propagación que depende de la velocidad relativa entre emisor y observador. La razón es simple, la onda se propaga por un medio ajeno al emisor y al observador (por ejemplo: el aire para el sonido, las rocas para las ondas sísmicas, el vacío para la luz), y la velocidad de propagación medida, en todo caso, podrá depender de la velocidad con que el medio por el que se propague la onda se mueva respecto al observador. En otras palabras, si emitimos un sonido en un día de viento, la velocidad medida por un observador en reposo en tierra no será la misma que la medida para viento en calma. Si recibimos a favor del viento mediremos una velocidad mayor, si recibimos en contra del viento, mediremos una velocidad menor. Evidentemente, lo mismo ocurrirá si el viento está en calma y es el observador el que se desplaza. Este aspecto para el caso de la luz era el que pretendían medir Michelson y Morley en su experimento; en aquella época se pensaba que la luz debía propagarse por un medio muy rígido (dada la enorme velocidad), conocido como

éter, a través del cual la Tierra se movía en su viaje alrededor del Sol. En realidad era la velocidad de la Tierra respecto del éter lo que, en un principio, se pensaba obtener y ¡el resultado fue negativo! En resumen, la propuesta de Einstein consistió en afirmar que la luz se propagaba sin necesidad de medio material y su velocidad de propagación no dependía de la velocidad relativa entre el observador y el vacío.

Respecto del primer aspecto de la propagación de ondas en general, el hecho de que la velocidad de propagación de una onda sea independiente de la velocidad del emisor respecto del medio en que la onda se propaga, el lector puede preguntarse sobre los motivos de que esto deba ser así, en contraposición a lo que ocurre con la velocidad de objetos lanzados desde un sistema en movimiento. La razón se fundamenta en la causalidad, aspecto de la Ciencia que Einstein siempre mantuvo como un principio inviolable. Supongamos que, a una gran distancia desde la posición de un observador, colisionan dos vehículos. Uno de ellos viene directamente hacia el observador, animado de una velocidad muy grande (supongamos un 90 % de la velocidad de la luz), y el otro viaja perpendicularmente a esa dirección al encuentro del anterior, animado de una velocidad pequeña (o grande, tanto da, porque la componente de su velocidad hacia el observador siempre será pequeña, dada la dirección de su movimiento). De acuerdo con la relatividad de Galileo, o de Einstein, si la velocidad de la luz estuviera determinada en parte por la velocidad del emisor, la velocidad de la luz emitida por el vehículo primero (el que viene directamente hacia el observador, vehículo A), sería mayor, en su movimiento hacia el observador, que la del segundo (vehículo B). Eso significaría que la onda emitida por el primero (A) -recuerden que la onda contiene la información del suceso- viajaría a mayor velocidad que la información proporcionada por el segundo vehículo (B). En breve, la información sobre la colisión llegaría al observador en tiempos diferentes, primero vería al vehículo A ¿chocar contra nada? y, una vez espachurrado éste, vería llegar al vehículo B. Es decir, no habría relación causa efecto

en el fenómeno observado, por lo cual sería imposible sacar consecuencias de las observaciones del comportamiento de la Naturaleza.

En relación al párrafo anterior, debemos confesar que la Mecánica Cuántica, en su formulación debida a la Escuela de Copenhage, niega en cierto modo la causalidad. No obstante, podemos afirmar que de ser eso cierto, en todo caso lo es en el micromundo, es decir, a nivel microscópico, mas, afortunadamente, por lo que los experimentos nos dicen a día de hoy, la causalidad se preserva a nivel macroscópico. Precisamente porque Einstein no aceptaba la violación de la causalidad ni el indeterminismo consecuente, es por lo que dijo aquello de "no creo que Dios juegue a los dados".

NOTA 8: Pitágoras de Samos (Isla de Samos 582 a. J.C. - Metaponto, hoy desaparecida, actual Italia 507 a. J.C.), filósofo y matemático griego, es famoso por su Teorema, en realidad obra de su escuela; se cree que la demostración corresponde a Hipaso de Metaponto.

De joven viajó a Mesopotamia y Egipto y, tras regresar a Samos, fundó su primera escuela durante la tiranía de Polícrates. Cambió su residencia en Samos por la Magna Grecia (Crotona o Crotón, en el sur de Italia), donde fundó su segunda escuela, para escapar de la tiranía de Polícrates. Su escuela se regía por normas muy estrictas de conducta y, aunque absolutamente esotérica, estaba abierta a hombres y mujeres indistintamente, y la discriminación por razones de sexo, raza, religión o extracción social estaba prohibida. Los pitagóricos, tras ser expulsados por los pobladores de Crotona, se establecieron en Tarento donde fundaron su tercera escuela.

Pitágoras es el introductor de pesos y medidas, elaboró la primera teoría musical, postuló el vacío, consideró las matemáticas como única posibilidad de escrutar el Universo... Su escuela cambió el fervor religioso por el fervor intelectual. Fueron los

pitagóricos los primeros en afirmar que la Tierra era una esfera y que ésta, el Sol y el resto de los planetas, entonces conocidos, no se encontraban en el centro del Universo, sino que giraban en torno a una fuerza simbolizada por el número uno.

NOTA 9: Empédocles de Agrigento (Agrigento, (Sicilia), 495/490 a. J.C. - 435/430 a. J.C.) fue un político democrático que, tras perder las elecciones, fue desterrado y se dedicó a la filosofía. Al igual que Parménides, establece la necesidad y perennidad del ser, conciliando esta necesidad con el devenir. Nos habla de cuatro "raíces" (rhicómata) eternas, los cuatro elementos naturales: fuego, agua, aire y tierra, que permanecen inalteradas, a diferencia de los "principios" (arjé) de los jónicos, que se transforman cualitativamente y se convierten en todas las cosas, las raíces de Empédocles sólo pueden cambiarse por la mediación de dos fuerzas cósmicas: el Amor y el Odio; el Amor tiende a unir los cuatro elementos, como atracción de lo diferente; el Odio actúa como separación de lo semejante.

Nota 10: Leucipo, filósofo del que se conoce muy poco de su vida, hasta tal punto que Epicuro llegó a considerar la posibilidad de que Leucipo no hubiera existido, lo cual dio lugar a numerosos debates. Se desconoce con certeza el lugar de su nacimiento (pudo ser Abdera, Melos, Mileto, Elea o Clazomene) (460 a. J.C. - Abdera, 370 a. J.C.). Se supone que alcanzó su fama alrededor del 420 a. J.C. Su obra se conoce, de forma fraccionaria, a través de Aristóteles, Simplicio y Sexto Empírico. Al parecer Demócrito fue uno de sus alumnos y a ambos se atribuye la introducción en la filosofía del atomismo mecanicista. Según esta teoría, todo lo existente está formado por el vacío y partículas indivisibles llamadas átomos (átomo = lo indivisible), de formas y esencia individuales y diferentes, siempre en movimiento, es decir, muy cerca de la Física de finales del siglo XIX. Quizás su teoría sea un intento de explicación de las ideas de Parménides que consideraba la existencia del ser (los átomos) y el no-ser (el vacío) con realidad existencial e imprescindible para que pueda existir el movimiento. Al igual que Demócrito considera que el alma está

formada por átomos más perfectos (más esféricos, la esfera es la perfección de los cuerpos geométricos) que los átomos que componen la realidad material. Asimismo, niega la génesis y la corrupción, formas de cambio aceptadas casi por unanimidad por los filósofos presocráticos.

NOTA 11: Arístocles de Atenas, apodado Platón (platón, en griego = el de anchas espaldas), nació en Atenas o en Aegina (428 a. J.C. - 427 a. J.C.), en el seno de una familia noble. Su padre Aristón, era descendiente de Codro, el último rey de Atenas. Su madre, Períctiona, descendía de la familia de Solón, el conocido legislador griego. Su tío carnal Cármides y su tío Critias fueron dos de los treinta tiranos que organizaron el golpe de estado oligárquico del año 404. A la muerte de su padre, Períctiona se casó con su tío Pírilampo, amigo y colaborador prominente de Pericles.

Fue soldado en las guerras del Peloponeso, en las que Atenas fue derrotada, dejando paso a la hegemonía económica y militar de Esparta. Fundó la Academia de Atenas, en la que estudió Aristóteles, y participó muy activamente en la docencia. Su estilo está basado en el humor y la ironía y por su forma de exponer, es considerado el filósofo más ameno.

Platón fue alumno de Sócrates y maestro de Aristóteles. Ha tenido gran influencia en el desarrollo de la filosofía occidental, no sólo como autor, sino también como sistematizador de las ideas filosóficas de su época. Se ha dicho que gracias a Platón la Filosofía alcanzó identidad de disciplina. Es conocido, sobre todo, por dos de sus obras: los Diálogos y La República, que suponen un tratado de filosofía política de un estado ideal. También trató temas de psicología (Fedro), cosmología (Timeo, con gran influencia matemática de los pitagóricos) ética, metafísica, epistemología y redactó el primer estudio conocido de Filosofía de la Ciencia (Teeteto). Algunos de sus epigramas y cartas han llegado hasta nuestros días.

Mucho se ha hablado sobre el "problema socrático", es decir, el hecho de que Sócrates no dejara abra escrita alguna, sin embargo, es de suponer que las primeras ideas y ensayos de Platón no sean sino la divulgación del pensamiento de Sócrates. En resumen, conocemos a este último por la obra del primero.

NOTA 12: Roger Bacon apodado el Doctor Mirabilis (Doctor Admirable), nació en Ilchester (Inglaterra), en 1214, estudió en Oxford y se trasladó a París en 1236, donde se dedicó a la docencia. Es considerado, junto con Galileo, uno de los padres del moderno Método Científico, en el que el método empírico cobra importancia capital. Pese a ser un experto en la ciencia más relevante de su época, es decir, los avances científicos y filosóficos del mundo árabe, algunos autores le acusan de estar anclado en las tradiciones alquímicas y el ocultismo.

Tras hacerse franciscano, se dedicó a estudios científicos y, sobre todo a analizar y comentar las obras de Aristóteles. Curiosamente, pese a su condición de franciscano famoso y homosexual, sus problemas con la Iglesia los tuvo por su obra y su pensamiento científico. En 1257 se le prohibió enseñar y volvió a París. En 1277 el general de los franciscanos, Jerónimo de Ascoli, tachó de sospechosas sus obras (sobre todo por sus ataques a San Alberto Magno y a Santo Tomás). Condenado por sus tesis, estuvo en prisión hasta 1292. Tras recuperar la libertad, no pudo concluir su Compendio del estudio de la teología. Murió en Oxford, en 1294.

Sus obras más importantes son: De los espejos, De la multiplicación de las especies, una Metafísica (Oxford 1251) y un Compendio del estudio de la Filosofía. A petición de Clemente IV, su protector, inició la redacción de los *Communium naturalium* (un balance de la ciencia de su época), que abandonó para escribir el *Opus maius* (1267-1268), obra que envió al Papa junto con la ya citada sobre las especies y otras dos, *Opus minus* y *Opus tertium*.

Lo cierto es que su pensamiento científico era avanzado para el tiempo en que vivió. Sus contribuciones a la Física son innumerables: captó los errores del calendario juliano, señaló los puntos débiles del sistema tolemaico, en óptica aventuró las leyes de reflexión y los fenómenos de refracción, comprendió el funcionamiento de los espejos esféricos, ideó una teoría explicativa del arco iris, tomó de los árabes la fórmula de la pólvora de cañón y, al igual que Leonardo, describió futuristas ingenios mecánicos (barcos, coches, máquinas voladoras).

NOTA 13: La vida de Euclides (300 ó 325 a. J.C - 265 a. J.C.) es poco conocida. A través de Proclo (450 d. J.C.), uno de los últimos filósofos griegos, se sabe que vivió en Alejandría, Egipto. Existen algunos otros datos poco fiables. Algunos autores árabes afirman que Euclides era hijo de Naucrates y se barajan tres hipótesis:

Euclides fue un personaje histórico que escribió Los Elementos y otras obras atribuidas a él.

Euclides fue el líder de un equipo de matemáticos que trabajaba en Alejandría. Todos ellos contribuyeron a escribir las obras completas de Euclides, incluso escribiendo libros a nombre de Euclides después de su muerte.

Las obras completas de Euclides fueron escritas por un equipo de matemáticos de Alejandría quienes tomaron el nombre Euclides del personaje histórico Euclides de Megara que había vivido unos cien años antes. Euclides de Megara, fue un filósofo socrático que vivió alrededor del 400 a. J.C. y fundó la escuela megárica. Los traductores medievales a menudo le confundieron con el matemático Euclides de Alejandría, nacido el 365 a. J.C. en Alejandría, Egipto, y fallecido alrededor del 300 a. J.C.

NOTA 14: Julius von Mayer, nació en Heilbronn (Alemania), el 25 de noviembre de 1814 y murió en la misma ciudad el 20 de marzo de 1878. Estudió medicina en Tubinga y se embarcó como médico en un navío que viajaba a las Indias Orientales.

Durante la travesía, estudió el comportamiento del metabolismo humano bajo la acción de elevadas temperaturas. Fue el primero en comprobar la transformación de trabajo mecánico en calor, y viceversa, obteniendo en 1842 el valor de la caloría, aunque la cifró en 3,6 (Joule llegó a la misma conclusión independientemente de Mayer, sin embargo, su valor para la caloría fue más acertado). En 1845, Mayer midió la diferencia de las capacidades caloríficas molares de los gases, que llamó "relación de Mayer". Poco después (1846), presentó un trabajo titulado "El movimiento orgánico", dedicado a los fenómenos eléctricos y biológicos, en el que enunció el Principio de Conservación de la Energía.

NOTA 15: Rudolf Julius Emmanuel Clausius nació en Koszalin (Prusia), el 2 de enero de 1822 y murió en Bonn (Westfalia), el 24 de agosto de 1888. Se licenció en la Universidad de Berlín (1844), y se doctoró en la Universidad de Halle (Sajonia) (1848). Fue profesor de física en la Escuela Real de Artillería e Ingeniería de Berlín (1850 - 1855) y en las Universidades de Zurich (1855 - 1867), Würzburg (1867) y Bonn (1869).

Tras descubrir un poco por azar la olvidada obra de Sadi Carnot, Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia, comprendió rápidamente el alcance y la difundió entre los físicos de su época. Su trabajo contribuyó a uno de los enunciados de la Segunda Ley de la Termodinámica (1850). Acuñó el concepto de entalpía e introdujo el concepto de entropía en 1865.

NOTA 16: Albert Einstein, nacido en Ulm (Württemberg, Alemania), el 14 de marzo de 1879, emigró a Estados Unidos de Nortemérica en 1933, tras la subida al poder de Adolf Hitler. Se nacionalizó nortemericano y murió en Princeton (New Jersey, USA), el 18 de abril de 1955. Es el científico más conocido del siglo XX. Siendo un joven físico desconocido, empleado en la Oficina de Patentes de Berna (Suiza), publicó su

Teoría de la Relatividad Especial (1905). En ella sintetizó, en un marco teórico simple y con base en postulados físicos sencillos, conceptos y fenómenos estudiados anteriormente por Henri Poincaré y Hendrik Lorentz. Ese mismo año publicó otros trabajos que sentarían algunas de las bases de la física estadística y la mecánica cuántica, lo que ha hecho que 1905 sea considerado el punto de partida de la física contemporánea.

En 1915 publicó la Teoría General de la Relatividad, en la que reformuló por completo el concepto de gravedad, lo cual tuvo como consecuencia el surgimiento de la cosmología, es decir, el estudio científico del origen y evolución del Universo. Muy poco después, Einstein se convirtió en un icono popular de la ciencia alcanzando fama mundial, un privilegio al alcance de muy pocos científicos. Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1921 por su explicación del efecto fotoeléctrico y sus numerosas contribuciones a la Física Teórica; no por la Relatividad, pues en esa época era aún considerada un tanto controvertida por parte de muchos científicos.

NOTA 17: Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld nació en Königsberg (Alemania) el 5 de diciembre de 1868, donde estudió matemáticas. En 1891, tras doctorarse, recibió una cátedra en la Universidad de Gotinga. Fue también profesor de la Universidad de Clausthal-Zellerfeld y de Aachen (Profesor de Ingeniería Técnica), donde desarrolló su teoría de la Lubricación Hidrodinámica.

El primer trabajo de Sommerfeld, bajo la supervisión de Klein, fue un impresionante estudio sobre la teoría matemática de la difracción, en el cual hizo un análisis de gran trascendencia sobre las ecuaciones diferenciales. Otros trabajos importantes versaron sobre el estudio de la propagación de las ondas electromagnéticas en cables y sobre el estudio del campo producido por un electrón en movimiento.

En 1906 trabajó en el espectro atómico y estudió la hipótesis de que los rayos X fueran ondas electromagnéticas, lo cual demostró utilizando cristales como rendijas de difracción de tres dimensiones.

Las ideas de Sommerfeld cambiaron las órbitas circulares del átomo de Niels Bohr por órbitas elípticas e introdujeron también los números cuánticos magnético e interno (1916). En 1919 presentó la constante de la estructura fina.

En 1906 fue nombrado profesor de física en la universidad de Munich, donde entró en contacto con la teoría de la relatividad de Albert Einstein; en aquella época todavía no reconocida por la comunidad científica. Sus contribuciones matemáticas a la teoría ayudaron a que los científicos más escépticos terminaran por aceptarla. Posteriormente se convirtió en uno de los fundadores de la mecánica cuántica y muchos de sus discípulos se hicieron famosos; los más importantes fueron: Werner Heisenberg y Wolfgang Pauli).

Sommerfeld aplicó la estadística de Fermi-Dirac al modelo de Drude de los electrones en metales, resolviendo así muchos de los problemas, al predecir las propiedades térmicas del modelo usado (1927).

Sommerfeld murió en Munich, el 26 de abril de 1951, a causa de las heridas sufridas en un accidente de tráfico.

NOTA 18: Enrico Fermi, conocido, sobre todo, por el desarrollo del primer reactor nuclear, además de sus contribuciones a la teoría cuántica, nació en Roma, el 29 de septiembre de 1901. Se interesó por la física a los 14 años de edad, tras la lectura de un viejo texto escrito en latín. Su historial académico fue excelente, disfrutando de una gran memoria que le permitía recitar La Divina Comedia de Dante y gran parte de Aristóteles. Gozaba de una gran facilidad para resolver problemas de física teórica

y una gran capacidad de síntesis. Cursó estudios en la Escuela Normal de la Universidad de Pisa, por la que se doctoró en 1922. Fue profesor de las Universidades de Florencia y Roma. En 1930 fue invitado a dar cursos de verano en la Universidad de Míchigan, pasando desde entonces la mayoría de los veranos en los Estados Unidos, realizando trabajos científicos y dando conferencias. También impartió clases en las universidades de Columbia, Stanford y Chicago.

Durante la Segunda Guerra Mundial participó en el desarrollo de la bomba atómica en los laboratorios de Los Álamos, Nuevo México, dentro del Proyecto Manhattan.

En 1946 fue nombrado profesor de física y director del Instituto de Estudios Nucleares de la Universidad de Chicago.

Los fermiones, el Fermi National Accelerator Laboratory, el elemento químico Fermio y la Estadística de Fermi-Dirac reciben este nombre en su honor. El Premio presidencial Enrico Fermi fue establecido en 1956 en recuerdo de su logros científicos y su excelencia como científico. El departamento de la Universidad de Chicago en el que trabajó durante varios años se llama en la actualidad Instituto Enrico Fermi.

Fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1938, por sus demostraciones sobre la existencia de nuevos elementos radioactivos producidos por la absorción de neutrones y sobre la fisión nuclear debida a los neutrones lentos.

Murió en Chicago, el 28 de noviembre de 1954.