

Una perspectiva histórica del Annus Mirabilis 1905

Arturo López Dávalos

Centro Atómico Bariloche-Instituto Balseiro. Comisión Nacional de Energía Atómica.
Universidad Nacional de Cuyo. Argentina
alopezd@me.gov.ar

Los trabajos de Einstein sobre la teoría de la relatividad produjeron un cambio revolucionario en nuestra concepción del universo, es decir en nuestra visión de la cosmología. La historia de la evolución de las teorías cosmológicas se inicia hace más de dos mil años con los griegos. Las ideas de Copérnico significaron un salto importante hacia el cambio en la posición privilegiada que el hombre había asignado a la Tierra desde siempre. Fue el primer terremoto que aflojó las bases de la idea de un espacio absoluto, que sin embargo no fue derrumbado hasta Einstein, que de paso derrumbó también la idea de un tiempo absoluto
Palabras clave: Einstein, relatividad, cosmología, espacio tiempo.

The works by Einstein on the Theory of Relativity produced a revolutionary change in our conception of the universe, i.e. in our cosmological vision. The history of the evolution of cosmological theories starts more than two thousand years ago with the Greeks. Copernicus ideas meant an important jump towards leaving aside the privileged position man had always assigned to Earth. It was a first earthquake, which however did not end with the idea of absolute space. This was done by Einstein, who in so doing put an end to the idea of absolute time too.

Keywords: Einstein, relativity, cosmology, space, time.

Introducción

El *Annus Mirabilis* de 1905 vio aparecer en la prestigiosa revista alemana *Annalen der Physik*, cuatro importantes trabajos de Albert Einstein, que cambiaron para siempre la visión que el hombre tiene del universo. A comienzos de ese año ya se había publicado, en la misma revista, otro trabajo de Einstein, su tesis doctoral “Una nueva determinación de las dimensiones moleculares” (*Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen*) presentada en la Universidad de Zurich, en abril de 1905.

El primero de aquellos cuatro trabajos, “Sobre un punto de vista heurístico relativo a la producción y transformación de la luz” (*Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*), Einstein postula que la luz está

compuesta de cuantos individuales (más tarde llamados fotones) que, además de un comportamiento ondulatorio, muestran ciertas propiedades de partículas. De esta manera y de un solo golpe, revolucionó la teoría de la luz y dio una explicación para los fenómenos de emisión de electrones desde la superficie de algunos sólidos iluminados, el *efecto fotoeléctrico*.

En el segundo trabajo, “Sobre el movimiento, requerido por la teoría molecular cinética del calor, de pequeñas partículas sumergidas en un líquido estacionario” (*Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*), provee una explicación teórica del movimiento browniano. Este trabajo relaciona el desplazamiento cuadrático medio de la partícula suspendida en un fluido, con propiedades termodinámicas

del fluido. Sobre la base de estas relaciones, el físico francés J.B. Perrin pudo hacer una determinación precisa del número de Avogadro.

La Teoría de la Relatividad Especial, que se presenta en el tercer trabajo, “*Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*” (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*), tuvo sus orígenes en un ensayo que había escrito a los dieciséis años.

La teoría de la relatividad de Einstein se basa en dos postulados fuertes que son:

1) Las leyes de la naturaleza son las mismas para todos los observadores inerciales.

2) La velocidad de la luz es la misma para todos los sistemas de referencia inerciales.

El primer postulado es el *principio de relatividad restringida*, llamado así porque se restringe a los sistemas inerciales. La aplicación de ambos postulados lleva a la conclusión de que el tiempo es relativo al observador, como ya lo eran el espacio y el movimiento, en la llamada Relatividad de Galileo caracterizada por el conjunto de transformaciones de coordenadas entre dos sistemas inerciales, con un tiempo absoluto, que deja invariantes las leyes de la Mecánica Clásica.

Más adelante, en el mismo año, Einstein publicó un trabajo complementario sobre relatividad, con el título “*¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido de energía? (Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?)*”, en el que establece la equivalencia entre la masa y la energía, de acuerdo con la cual la energía total de una cantidad de materia, es igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz, que se expresa en la conocida forma $E = mc^2$.¹

Dos de los trabajos que Einstein publicara en 1905 tienen estrecha vinculación con la teoría electromagnética. Se trata del referido a la cuantización de la radiación electromagnética y el que expone los fundamentos de la teoría de la relatividad. Un análisis de las ideas históricas que dieron origen al electromagnetismo moderno permite poner en contexto la revolución de 1905.

El análisis de la historia del electromagnetismo nos lleva a la convergencia de tres corrientes del pensamiento científico, originadas en áreas aparentemente dispares. Estas líneas

históricas de investigación son el estudio de la estructura del Universo o cosmología, el estudio de los fenómenos de atracción y repulsión de cargas eléctricas y de imanes, y el estudio de los fenómenos ópticos, es decir, la naturaleza y las propiedades de la luz.

La cosmología

Aristarco de Samos (280 a.C.), postuló una primera visión cosmológica, en la que suponía que la Tierra giraba alrededor del Sol, que fue considerada ofensiva para los dioses. Luego, alrededor de 140 d.C. Ptolomeus Claudius (Klaudios Tolomaíos, o Tolomeo) de Alejandría, desarrolló una teoría cosmológica completa, en la que supone a la Tierra en el centro del Universo, con el “globo celeste” girando a su alrededor.

La cosmología de Tolomeo dominó el conocimiento astronómico durante más de mil años. Recién en 1530 el astrónomo polaco, canónigo de Frauenburg, Nicolás Copérnico (1473-1543), conmovió esas ideas con una visión novedosa. En su obra *De revolutionibus orbium coelestium*, sostiene que la Tierra y los planetas giran alrededor del Sol. Copérnico no utilizó evidencias diferentes de aquellas con las que contaba Tolomeo, y sus argumentos invocaban exclusivamente razones de simplicidad. Calculó con precisión los radios de las órbitas planetarias, y concluyó que el Sol está algo apartado del centro de esas órbitas.

En este punto de la historia, y como sucedió más adelante en otros campos de la ciencia, aparece el importante aporte de la tecnología en auxilio del desarrollo científico. El astrónomo Tycho Brahe (1546-1601), gracias a su habilidad para construir instrumentos astronómicos, abre el camino para la determinación precisa de las órbitas planetarias.

Brahe desarrolló el sextante, con el que logró aumentar la precisión de las determinaciones cosmográficas a medio minuto de arco. Sus observaciones fueron completadas por su asistente Johannes Kepler (1571-1630). Este realizó observaciones que le permitieron encontrar las “armonías” del sistema planetario. En 1619 publicó su obra *Armonías del Uni-*

verso, en la que presenta sus observaciones y conclusiones.

A poco de concluidos esos trabajos, la introducción del telescopio por Galileo Galilei (1564-1642) determinó un cambio sustancial en los medios de observación astronómica. Los trabajos de Galileo interesaron inmediatamente a Kepler, pero no eran atendidos por otros científicos de la época, incluso en la propia Universidad de Padua, donde enseñaba. Es conocido el conflicto que sostuvo con la Iglesia, que se magnificó por su obstinación en el uso del idioma italiano para exponer sus ideas en público, posición que contribuía a su difusión y aumentaba el temor de sus exegetas. El triunfo final de las ideas de Galileo se debió a su confianza en las observaciones, y es por esto que muchos lo consideran el creador de la ciencia moderna.

Isaac Newton (1643-1727) jugó el papel de gran unificador en este capítulo de la cosmología, ya que combinó descubrimientos individuales previos, en un sistema coherente. La teoría de Newton incluía la concepción heliocéntrica de Copérnico, las leyes de Kepler sobre las órbitas y las leyes de Galileo sobre la caída de los cuerpos. Newton percibió que éstas no eran extrañas a sus observaciones astronómicas y que el poder de atracción de la Tierra se extendía a los otros planetas, como una propiedad común a todas las masas. La teoría se confirmaba con cálculos precisos de las órbitas planetarias, y significó el triunfo definitivo de la razón.

Electricidad y magnetismo

En forma independiente se desarrolló la línea de investigación que se ocupa de la electricidad y del magnetismo. Los griegos ya habían estudiado las propiedades que del ámbar ($\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ =electron) al ser frotado y de las piedras de magnetita, pero recién en el siglo XVIII la investigación en estos temas adquiere un impulso importante, dando lugar a una descripción fenomenológica coherente.

En el año 1600 aparece la obra *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*, del inglés William Gilbert

(1544-1603), que resume múltiples experiencias, incluyendo algunas referidas al magnetismo terrestre. Respecto al campo magnético, dice Gilbert: “*Rayos de virtud magnética se abren en todas direcciones en un círculo. El centro de este círculo no es el polo sino el centro de la piedra o terella.*” Su teoría del magnetismo se basaba en que los imanes tenían un *alma* heredada de la Tierra, que también debía tenerla. La falta de un marco teórico donde fundar una visión coherente de sus observaciones, le impidió avanzar más allá.

La experimentación con electricidad estática recibió un fuerte impulso a partir de la construcción de sistemas de acumulación de carga eléctrica unidos a máquinas de generación por frotamiento. Benjamín Franklin (1706-1790) postuló que la carga era transmitida por un único fluido, cuyo exceso o defecto producía la acumulación de carga de un signo o de otro, mientras que Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739), por su parte había puesto en evidencia la existencia de dos tipos de electricidad, que llamó resinosa y vítrea. Como esta idea competía con la de Franklin, indujo a la realización de numerosos experimentos que trataban de probar una u otra.

En 1785, Charles Augustin Coulomb (1736-1806), publicó el resultado de sus experimentos con cargas eléctricas y magnéticas realizados con la balanza de torsión que él mismo había inventado, y que le permitió hacer determinaciones cuantitativas. La balanza de torsión puede compararse, como herramienta para el avance del conocimiento, con el sextante de Tycho Brahe o con el telescopio de Galileo. Otro avance tecnológico que facilitó la realización de los experimentos fue la invención de la pila eléctrica, en 1800, por Alessandro Volta (1745-1827).

En 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851), que buscaba una conexión entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, descubrió que las corrientes eléctricas eran capaces de desviar agujas magnetizadas. Este resultado, que conectaba dos fenómenos inicialmente considerados independientes, produjo una revolución en los círculos científicos, y dio lugar a una serie de experimentos que permitieron cuantificar el fenómeno, entre los que se desta-

can los de Jean Baptiste Biot (1774-1862), Felix Savart, Dominique François Arago (1786-1853) y André Marie Ampère (1775-1836).

Michael Faraday (1791-1867) realizó innumerables experimentos en electricidad, a partir de 1821. Sus contribuciones son muy numerosas en electricidad y en óptica e incluyen trabajos en electroquímica. Enunció la ley de equivalentes que relaciona la carga eléctrica elemental con el número de átomos por centímetro cúbico de una sustancia, posibilitando así la primera determinación de la carga elemental y sugiriendo el carácter atómico de la electricidad. La contribución que más impactó en el desarrollo subsiguiente del electromagnetismo fue el concepto de campo, reconocido por el propio Maxwell.

Óptica

La tercera línea de investigación se refiere al interés de la humanidad por los fenómenos asociados a la luz, que se remonta a la más remota antigüedad. Empédocles (490-430 a.C.) y Euclides (300 a.C.) dejaron los primeros escritos conocidos sobre fenómenos ópticos, en los que se discute sobre la naturaleza de la luz, y se mencionan observaciones sobre la propagación rectilínea, la reflexión y la refracción.

La ley de la refracción fue descubierta por Willebord Snell (1591-1626) en 1621. En 1657, Pierre de Fermat (1601-1665) enunció el principio, de acuerdo con el cual la luz llega de un lugar a otro en el menor tiempo posible. Según esta idea, la ley de refracción es debida a la resistencia que los distintos medios ofrecen al paso de la luz.

Los fenómenos de interferencia fueron descubiertos, independientemente, por Robert Boyle (1627-1691) y por Robert Hooke (1635-1703). Hooke fue el primero en postular que la luz consiste de vibraciones que se propagan a gran velocidad. De hecho, décadas antes, Galileo había intentado medir su velocidad, concluyendo que era demasiado elevada para su método experimental. La comprobación de que la luz tiene una velocidad de propagación finita se debe a Ole Römer (1644-1710), que basó sus conclusiones en la obser-

vación de los eclipses de las lunas de Júpiter.

La teoría ondulatoria había recibido un gran impulso por parte de Christian Huygens (1629-1695), quien enuncia el principio que lleva su nombre, con el que intenta compatibilizar los fenómenos ópticos conocidos. A pesar de los importantes aportes a la óptica, la oposición de Newton a la teoría ondulatoria contribuyó al rechazo de ésta, hasta los experimentos de interferencia de Thomas Young (1773-1829), en 1802.

La Academia de París premió en 1818 un trabajo de Fresnel, el primero de una serie basados en la hipótesis ondulatoria, que iban a desplazar a la teoría corpuscular, hasta su reaparición en otra forma, en los trabajos de Einstein. Fresnel combinó el principio de Huygens con el principio de interferencia de Young y así demostró que podía explicar la propagación rectilínea y la difracción de la luz.

Fresnel inició los estudios sobre la naturaleza de la luz proveniente de fuentes estelares, comparándola con la de fuentes terrestres. Sobre la base de estos resultados, desarrolló una teoría del arrastre parcial del éter luminoso por parte de la Tierra, hipótesis confirmada por Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896) en un experimento de interferencia, usando luz que se propaga en un líquido en movimiento.

Además, Fresnel y Arago demostraron que dos rayos de luz polarizados a noventa grados uno del otro, no interfieren. Este resultado indujo a Young a postular que las vibraciones eran transversales, lo que marcó el inicio del estudio de las propiedades elásticas del éter.

Hasta las últimas décadas del siglo XIX, el desarrollo de la óptica fue independiente de la evolución de la teoría electromagnética. La unificación de ambas se debe a James Clerk Maxwell (1831-1879), que logró resumir los resultados de la fenomenología sobre electricidad y magnetismo en el conjunto de ecuaciones que llevan su nombre. Además de agrupar las leyes que describen tales fenómenos, introdujo conceptos importantes, en particular, la formalización de la noción de campo eléctrico y magnético. Propuso el principio de conservación de la carga eléctrica —que encontraría su forma más rigurosa en la teoría de la rela-

tividad— y modificó las leyes del electromagnetismo a fin de satisfacer este principio.

En 1864, Maxwell presenta ante la Royal Society su trabajo *Teoría dinámica del campo electromagnético* en el que prescinde de los modelos mecanicistas que había usado hasta entonces, y hace una descripción del campo mediante ecuaciones diferenciales. Su teoría electromagnética fue expuesta en varias publicaciones y resumida en su *Tratado de Electricidad y Magnetismo*, publicado en 1865.

Un resultado importante del electromagnetismo es que prevé la posibilidad de la propagación de ondas electromagnéticas, hecho que indujo a Maxwell a postular que la luz consistía en este tipo de ondas. Heinrich Hertz (1857-1894) generó experimentalmente ondas electromagnéticas en 1888, a partir de circuitos eléctricos oscilantes.

Al mostrar que electricidad y magnetismo no son más que dos manifestaciones de un mismo fenómeno, la formulación de Maxwell constituyó un primer paso en la descripción unificada de las interacciones físicas.

La relatividad

En la mecánica clásica existía un principio de relatividad, basado en la teoría de Newton. Esta teoría formaba el sistema de ideas con que los físicos de fines del Siglo XIX debían interpretar los fenómenos de la óptica, la existencia o inexistencia del éter como medio en el que tenían lugar los fenómenos electromagnéticos y el movimiento de la Tierra con respecto al mismo.

La búsqueda de un principio de relatividad para los fenómenos electromagnéticos, y la comprobación experimental de la inexistencia de un sistema de referencia absoluto, fijo al éter, llevaron a la formulación de la teoría de la relatividad especial en 1905.

La visión dominante en la física hasta entonces preveía la existencia del éter, en el que se suponía ocurrían los fenómenos electromagnéticos. Como dijo alguien varios años después, la existencia de ondas electromagnéticas requería un sujeto para el verbo ondular. Los experimentos de Michelson y Morley pre-

tendían determinar el estado de movimiento de la Tierra respecto a ese éter, que se suponía fijo a las estrellas lejanas, o eventualmente fijo al Sol. Todas las determinaciones de Michelson y Morley dieron resultados negativos. Esto significa que no era posible detectar el movimiento de la Tierra respecto al éter, que se interpretaba diciendo que el éter era arrastrado por la tierra, en su movimiento alrededor del Sol.

Por otra parte, la observación de la llamada aberración de las estrellas fijas, hacía pensar que la Tierra sí se movía con respecto al éter y que, por lo tanto, el éter **no** era arrastrado por la Tierra, en su movimiento alrededor del Sol.

Una tercera observación provenía de los experimentos de interferencia de Fizeau, ya citados, que determinaban la velocidad de propagación de la luz en un líquido en movimiento y que podían interpretarse como si el éter fuera **parcialmente** arrastrado por el líquido.

Este estado de cosas llevó al holandés Hendrik Antoon Lorentz y al irlandés George Francis Fitz Gerald, a intentar en forma independiente, una explicación de estos resultados, en particular el de los norteamericanos Michelson y Morley. Estos trabajos son matemáticamente similares al de Einstein, pero hacían una interpretación ad-hoc de las propiedades elásticas de los cuerpos rígidos y no constituían una nueva teoría en sentido epistemológico.

Einstein comienza su trabajo *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento* llamando la atención sobre el hecho de que experimentalmente, es posible observar una simetría entre el resultado de mover un conductor frente a un imán en reposo, o un imán frente a un conductor en reposo, mientras que las ecuaciones de Maxwell no tienen esa simetría respecto a las transformaciones de coordenadas entre dos sistemas inerciales, como las ya conocidas transformaciones de Galileo.

A partir de los postulados que mencionamos anteriormente, y de analizar sus consecuencias, Einstein llega a la conclusión de que la simultaneidad de dos sucesos no coincidentes en el espacio, es un concepto relativo. Esta es la base de la pérdida del concepto absoluto de tiempo, que había acompañado a la física hasta entonces.

El abandono de la idea de un sistema privilegiado de referencia tiene implicancias cosmológicas similares a la formulación de la teoría heliocéntrica de Copérnico, que quitó a nuestro planeta el privilegio de ocupar el centro del Universo. En 1916 el mismo Einstein demostró que la teoría de la relatividad podía ser *generalizada* para incluir sistemas en movimiento arbitrario, de una manera que le permitió unificar la descripción de sistemas acelerados con la descripción de las fuerzas gravitatorias a través del llamado *principio de equivalencia*. El principio de equivalencia puede ilustrarse con el ejemplo de un experimentador que pretende medir la gravedad, mientras trabaja en un ascensor en caída libre. La aceleración del “laboratorio” le impide observar el campo gravitatorio, lo que manifiesta la *equivalencia* entre ambos.

La teoría de la Relatividad General permitió enunciar una teoría cosmológica basada en primeros principios. La formulación matemática de la teoría permite visualizar el efecto del campo gravitatorio como un fenómeno geométrico, asociado a las propiedades del espacio-tiempo. Un sistema libre de gravedad puede representarse en un espacio-tiempo plano, mientras que la presencia de un campo gravitatorio, debido a una distribución de masas, origina un espacio-tiempo curvo.

Las fuerzas elementales

Al tiempo de la formulación de la teoría de Maxwell, las fuerzas electromagnéticas y la gravedad eran las dos únicas fuerzas conocidas. Einstein soñó con unificar la descripción de estos fenómenos. Cuando publicó la Teoría General de la Relatividad en 1916, se pensaba que el protón y el electrón, los principales constituyentes del átomo, eran las partículas fundamentales con las cuales estaba hecha toda la materia. A partir del descubrimiento del neutrón en 1932 y de la fisión nuclear en 1939, y a raíz de los desarrollos tecnológicos que comenzaron con los aceleradores electrostáticos en 1932 y continuaron después de la guerra, se inició el descubrimiento de otras partículas. La hipótesis del Modelo Estándar,

avanzada en la década de 1960, logró agrupar y ordenar la gran diversidad de partículas conocidas.

De acuerdo al Modelo Estándar, las partículas elementales se clasifican en tres grupos: leptones², quarks y bosones intermediarios. Los leptones comprenden al electrón, al muón, al tauón y a sus tres neutrinos. Los quarks³, también en seis variedades, son a su vez los constituyentes de los hadrones⁴, que comprenden a los bariones⁵ (protón, neutrón, lambda, sigma, etc.) y a los mesones (piones, kaones, etc.). Los bosones intermediarios, a saber el fotón, los bosones W y Z y los gluones, son las partículas que median las fuerzas electromagnéticas, débiles y fuertes, respectivamente.

En cuanto a las fuerzas electromagnéticas, la compatibilización de la teoría de Maxwell con los principios de la mecánica cuántica dio lugar a la llamada electrodinámica cuántica, capaz de predecir con precisión el comportamiento de electrones y fotones. Hoy sabemos que, además de estas fuerzas, hay otras que rigen el comportamiento de los constituyentes últimos de la materia.

Las interacciones débiles representan fuerzas entre leptones y quarks. Las interacciones fuertes se manifiestan entre quarks y, de manera indirecta, entre hadrones. La interacción electromagnética describe la fuerza entre partículas cargadas y finalmente la gravitación, quizás mediada por un gravitón aún no descubierto, está siempre presente. Si bien la intensidad de estas fuerzas es dependiente de la energía, podemos ordenarlas aproximadamente como se muestra en la Tabla 1.

Los quarks no pueden existir en forma aislada, y sólo se encuentran en el interior de los hadrones, donde aparecen de a tres. La imposibilidad de observarlos en forma independiente se debe al *confinamiento*, y se relaciona con el hecho de que la fuerza entre ellos, que los mantiene unidos, crece con la distancia, como la fuerza de un resorte que se estira.

Entre 1964 y 1967, Abdus Salam (1926-1996) e, independientemente, Steven Weinberg (1933-), formularon una teoría unificada de la electrodinámica cuántica y de las interacciones débiles, llamada teoría electrodébil.

Tabla 1. Partículas elementales y bosones intermediarios

Fuerzas Elementales			
Fuerte	Electromagnética	Débil	Gravitación
Intensidad Relativa			
1	10^{-2}	10^{-13}	10^{-40}
Partículas Elementales			
Quarks-Hadrones	Partículas cargadas	Leptones-Quarks	Todas las masas
Bosones Intermediarios, que transmiten las fuerzas			
Gluones-Mesones	Fotón	W-Z	Gravitó

Más recientemente la teoría de las interacciones fuertes, que se denomina cromodinámica cuántica, ha sido unificada con la teoría electrodébil, en una teoría única llamada gran unificada. En esta descripción, las fuerzas electromagnética, débil y fuerte resultan ser tres aspectos de una única interacción, tal como electricidad y magnetismo son dos aspectos de la fuerza originada en la carga eléctrica. En este caso, la unificación ocurre a distancias del orden de 10^{-28} cm. Si dos partículas –cualquiera sea su clase a distancias mayores– se aproximan a distancias menores que esta distancia de unificación, la distinción aparente entre ellas desaparece y su interacción es debida a una única fuerza.

La pretensión de unificar todas las fuerzas se complementa con la idea más ambiciosa, y similar a la de Einstein, de incluir la gravedad en una teoría única.

Un físico argentino, Juan Martín Maldace-

na, que ahora se desempeña en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, el mismo lugar donde trabajó Einstein, ha realizado importantes aportes en esta dirección. Su trabajo se relaciona con la gravedad cuántica, con la llamada teoría de cuerdas y con la teoría cuántica de campos. Recientemente propuso una relación entre la gravedad cuántica y la teoría cuántica de campos que clarifica varios aspectos de ambas teorías. Este trabajo relaciona problemas aparentemente diferentes tales como el confinamiento de los quarks y los agujeros negros.

La teoría mostraría, si fuera verificada experimentalmente, la conexión entre el estudio de las fuerzas entre partículas elementales a distancias microscópicas, por un lado, y la descripción cosmológica de la estructura y origen del universo, por el otro. Todo esto a partir de las ideas de Einstein de 1905, que sacudieron fuertemente las teorías preexistentes.

Notas

¹ Los trabajos de Einstein continuaron con “Zur Theorie der Brownschen Bewegung,” (Sobre la teoría del movimiento browniano) en *Annalen der Physik* de 1906, “Zur Theorie der Lichtezeugung und Lichtabsorption” (Sobre la teoría de la emisión y absorción de la luz) también en los *Annalen der Physik* de 1906. En 1907 publica en los *Annalen der Physik* el trabajo “Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme” (La teoría de Planck de la radiación y la teoría de los calores específicos). En 1913 aparece en la revista *Zeitschrift für Mathematik und Physik* el primer trabajo sobre la relatividad general “Entwurf einer Verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation” (Lanzamiento de una teoría general de la relatividad), seguido en 1916 por “Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie” (Fundamentos de la teoría general de la relatividad) en *Annalen der Physik*. Vuelve a tratar el tema de la absorción y emisión de la luz en “Strahlungs-emission und -absorption nach der Quantentheorie” (Emisión y absorción de radiación según la teoría cuántica) en *Verhandlungen der Deutschen physikalischen Gesellschaft* (1916); “Quantentheorie der Strahlung,” in *Physikalische Zeitschrift* (1917); “Quantentheorie des einatomigen idealen Gases” in *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* (1924 y 1925).

² Leptones, del griego leptos (λεπτος): fino, delgado.

³ Quarks, partículas que aparecen en combinaciones de a tres, postuladas por el físico Murray Gell-Mann (Premio Nobel de 1969). El nombre proviene de un párrafo del libro de James Joyce, “Finnegan’s Wake” La velada de Finnegan, en el que mencionan “tres quarks”.

⁴ Hadrones, del griego adronios (αδρονίων): robusto

⁵ Barion, del griego barios (βαρυς): pesado

Bibliografía

- Asimov, I (1993) *El monstruo subatómico*. Barcelona: Salvat Editores S. A.
- Einstein, A. (1987) *El Significado de la Relatividad*. Buenos Aires: Planeta-Agostini.
- Langevin, P. (1956) *Introducción a la Relatividad*. Buenos Aires: Ediciones Leviatán.
- Lederman, L. (1993) *The God Particle*. Nueva Cork: Dell Publishing.
- Loedel Palumbo, E. (1955) *Física relativista*. Buenos Aires: Kapelusz.
- Maiztegui, A. P. (1977) *El umbral de la relatividad*. Buenos Aires: Editorial, Kapelusz SA.
- Reichenbach, H. (1945) *De Copérnico a Einstein*. Buenos Aires: Poseidón.
- Schaposnik, F. A. y von Reichenbach, M. C. Partículas elementales. *Revista Ciencia e Investigación*, Tomo 50 n° 1 y 2 - pp. 23