

## ¿NEWTON VS. EINSTEIN?

Percy Acuña Vigil<sup>1</sup>



Este artículo tiene el propósito de revisar sucintamente los hitos en la construcción del conocimiento científico tanto en relación a la obra de Newton como de Einstein para puntualizar algunos fundamentos epistemológicos sobre creencias al respecto.

This paper aims to examine briefly the standpoints in the construction of scientific knowledge in relation to the work of Newton as well of Einstein in order to point out some epistemological basis due to popular beliefs

### Conceptos de base

Citando a Newton:

**"He visto más lejos porque me he apoyado en los hombros de gigantes"**<sup>2</sup>.

Todos sus contemporáneos también podían haberse apoyado en los mismos gigantes en que se apoyó Newton, en Galileo, en Hooke y hasta en los griegos, pero no lo hicieron. Einstein sin Riemann, Gauss, Poincaré, Lobachevsky y sus contribuciones a la geometría, o sin Lorentz y sus derivadas, o sin Newton, no habría podido hacer el trabajo que hizo porque habría tenido que dedicar sus esfuerzos a la labor que otros hicieron antes que él. Y Newton no podría haber hecho lo que hizo si no hubiera sido por el trabajo astronómico de Copérnico, Galileo y Kepler, las cuidadosas observaciones de Tycho, el trabajo axiomático de Euclides y los descubrimientos de Arquímedes en "cálculo" geométrico.

### La Física Aristotélica



Los filósofos naturales griegos no pretendían dar una explicación detallada de los mecanismos que rigen el comportamiento de la Naturaleza, y mucho menos aspiraban a lograr predicciones cuantitativas de resultados experimentales. Por contrario, buscaban analogías de los fenómenos naturales en términos más familiares, para lo que usaban frecuentemente el cuerpo del hombre, las relaciones humanas, los conflictos sociales, etc. Así, el magnetismo se podía describir como similar a la atracción que determinadas personas son capaces de ejercer sobre otras en virtud de una simpatía innata y que no todos poseen.

**Aristóteles**

Los conceptos de atracción y repulsión eran centrales en la ciencia prearistotélica, al ser tomados como agentes fundamentales de cambios en la Naturaleza. La distinción entre materia, sujeto paciente de los cambios, y fuerzas, agentes de los mismos, ya es un hecho en la antigua ciencia griega hacia el siglo V a. de C.

En esta se establecían cuatro tipos de causas de cambios, de las cuales, la causa eficiente se tomaba como fuente primaria de todo cambio, y representaba lo más parecido a lo que hoy llamamos acción o fuerza en un movimiento.

La "Física" de Aristóteles está dedicada fundamentalmente al estudio de las causas eficientes y su relación con el movimiento. Se desarrolla sobre la base de cuatro principios:

### 1. Negación del vacío

La existencia de espacios vacíos supondría velocidad infinita, por ser ésta inversamente proporcional a la resistencia del medio. Y dentro del esquema aristotélico no resultaba admisible la existencia de un móvil con esa propiedad.

### 2. Existencia de una causa eficiente en todo cambio.

La causa eficiente se localizaba en la tendencia generalizada al "propio lugar", que no es sino la inclinación que todo cuerpo posee a ocupar el lugar que le corresponde por su propia naturaleza. Esta propensión al "propio lugar" ha sido interpretada, a veces, como una energía potencial introducida de forma rudimentaria; en otras, se ha visto como la primera insinuación de un modelo de acción a distancia, que sería la ejercida por la Tierra sobre los demás cuerpos.

### 3. Principio de la acción por contacto.

En todos los movimientos, excepto en los naturales, debe existir como causa eficiente un agente en contacto con el objeto móvil. Se tomaba como resultado experimental, aunque aparecían dificultades concretas a la hora de explicar los movimientos de proyectiles, el magnetismo y las mareas. En los tres casos, el agente parecía operar a través de la continuidad del medio.

### 4. Existencia de un primer agente inmóvil.

Aristóteles pensaba, por tanto, que el estado natural de las cosas en la Tierra era el reposo. Cualquier objeto en movimiento regresaba a ese estado natural de reposo lo antes posible. En el cielo, por el contrario, la Luna, el Sol y las estrellas jamás hacían un alto y se movían siempre con la misma rapidez.

Las ideas aristotélicas sobre el movimiento de los objetos fueron lo único que pudo ofrecer la mente humana durante casi dos mil años. Luego vino Galileo.

Allí donde Aristóteles creía que los objetos pesados caen más rápidamente que los ligeros, Galileo mostró que todos los objetos caen con la misma velocidad. Aristóteles tenía razón en lo que se refiere a objetos muy ligeros: era cierto que caían más despacio. Pero Galileo explicó por qué: al ser tan ligeros, no podían abrirse paso a través del aire; en el vacío, por el contrario, caería igual de aprisa un trozo de plomo que el objeto más ligero, pues éste no se vería ya retardado por la resistencia del aire.

Unos cuarenta años después de la muerte de Galileo, el científico inglés Isaac Newton estudió la idea de que la resistencia del aire influía sobre los objetos en movimiento y logró descubrir otras formas de interferir con éste.

## La Física de Newton

Newton, cuyo nombre es sinónimo de la Física, nació en 1642. Se convirtió al pasar los años en uno de los más grandes genios de la humanidad de todos los tiempos. Sus aportes a la Física y Matemáticas son tan numerosos e importantes que han moldeado la sociedad tecnológica en que vivimos<sup>3</sup>.

En el año de 1666 ("*annus mirabilis*"), cuando Newton tenía 23 años, desarrolló la ley fundamental de la fuerza de atracción entre dos masas, lo que hoy se llama la **Teoría gravitacional de Newton** (TGN). Con esta ley se puede entender y predecir, no sólo el movimiento de los planetas alrededor del sol, sino prácticamente toda la dinámica estelar en nuestro sistema solar.

Sin dudas, su obra maestra, **Los Principia: Principios Matemáticos de la Filosofía Natural**, publicada en 1687, es la obra fundamental de la física clásica. Newton logró unificar el movimiento de los cuerpos en las cercanías de la Tierra con el movimiento de los astros. Para ello, basándose en los trabajos de Galileo y Kepler, desarrolló axiomáticamente las leyes de movimiento y postuló la ley de gravitación universal. Desarrolló además muchas herramientas matemáticas para realizar sus predicciones teóricas. Sus contribuciones no se restringieron sólo a la mecánica y la matemática. En 1704 publicó su tratado de *Óptica*.



**Sir Isaac Newton**

La Física de Newton tomaba como punto de partida un universo constituido por corpúsculos extensos y por espacio vacío. Cada uno de ellos con la propiedad de actuar a distancia, es decir, de ejercer fuerzas directa e instantáneamente sobre los demás. Con este esquema básico, Newton desarrolló sus conocidas teorías sobre el movimiento y sobre la gravitación publicadas en 1686.

La Mecánica de Newton describe cómo las fuerzas producen movimiento:

Primera Ley o Ley de la Inercia

*Todo cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo con velocidad constante si no está sometido a una fuerza exterior.* Establece que un cuerpo se mantiene en su estado de movimiento si no actúan fuerzas sobre el mismo.

Segunda Ley o Ley de la Fuerza

*El cambio de movimiento de un cuerpo es proporcional a la fuerza exterior, inversamente proporcional a la masa del cuerpo, y tiene lugar en la dirección de la fuerza.* Establece la proporcionalidad entre la intensidad de la fuerza y la aceleración (segunda ley).

Tercera Ley o Ley de Acción y Reacción

*A toda acción se opone una reacción igual y de sentido contrario.* Establece que la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un segundo cuerpo es igual y de sentido contrario al que ejerce el segundo sobre el primero.

Justamente, la combinación de estas leyes con las leyes de Kepler fue lo que le permitió formular su famosa

Ley de la Gravitación

*Dos cuerpos se atraen con una fuerza proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.*

La teoría de la gravitación estudia la naturaleza de las fuerzas asociadas con los corpúsculos, son fuerzas atractivas y centrales, actúan según la recta que determinan sus respectivos centros.

Newton estableció la variación cuantitativa de esta fuerza: resultaba ser directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa los centros de los cuerpos.

Aplicando esta ley, pudo calcular el movimiento de los planetas con gran aproximación y también, deducir correctamente las leyes descubiertas por Kepler y Galileo. La teoría de Newton era sorprendentemente superior, en la predicción de nuevos resultados, a cualquier teoría precedente en la historia del pensamiento humano.

La ley del inverso del cuadrado de la distancia está en perfecta consonancia con la metafísica de Newton porque tiene interpretación geométrica y parece seguirse del carácter mismo del espacio. La teoría newtoniana de la acción a distancia no involucra al medio y supone la existencia de corpúsculos, espacio vacío, fuerzas centrales actuando a distancia, e interacción instantánea.

Aunque, dentro del esquema newtoniano la ley de gravitación resultaba absolutamente coherente, hay que resaltar que para el propio Newton era ya patente la dificultad de su adaptación a otro tipo de interacción. No predecía nada sobre otros muchos modos de acción de un cuerpo sobre otro. No explicaba, por ejemplo, la cohesión, fuerza que mantiene unidos a los cuerpos, ni tampoco las fuerzas eléctricas, magnéticas ni químicas. Se aceptaba que este modelo sirviera de base para el estudio de otros fenómenos, como la electricidad.

## Las teorías anti-newtonianas

Las teorías que se oponían a la Física formulada por Newton, tuvieron origen en Descartes. Se destaca la gran relación que había en aquella época entre la Física, que empezaba a despuntar e interpretar con gran éxito los fenómenos de la Naturaleza, y la Filosofía.

### La Física de Descartes

El filósofo francés Descartes, comienza al crear todo un sistema del mundo en el que la materia se identificaba con el espacio, y no había lugar para el vacío. La ley fundamental del sistema de Descartes es la conservación del movimiento. Dios infundió al Universo cierta cantidad de movimiento, que continua inalterado. Para Descartes "movimiento" es *momento* ( $mv$ ), prescindiendo del carácter direccional de la velocidad. Puede haber transferencia de movimiento entre partículas que chocan, pero nunca puede ser creado ni destruido.

La causalidad física se reduce a un principio puramente mecánico: todo cambio es movimiento y toda alteración del movimiento se debe al contacto entre los cuerpos. Para Descartes la cuestión clave de la Física, que nunca se había planteado hasta entonces, estribaba en las leyes de los choques entre los cuerpos, que él mismo formuló.

### Las modificaciones de Leibniz<sup>4</sup>

Leibniz modificó el modelo de Descartes en varios aspectos fundamentales, para explicar la impenetrabilidad de los cuerpos. Si los cuerpos son objetos meramente geométricos, ¿por qué no se atraviesan, como podemos imaginar que sucede con los objetos geométricos? La pregunta no tenía solución dentro del sistema de Descartes. Para contestarla era necesario considerar junto con la extensión, la fuerza como otra propiedad esencial de la materia. La fuerza debería ser repulsiva para resistir la penetración. Leibniz arguye además que hay que asignar fuerzas a todos los puntos de la materia, y no solo a partículas de tamaño finito.

Esta nueva concepción del espacio como un continuo de puntos materiales con fuerza asociada, encontró fuerte oposición por parte de los partidarios de la Física de Newton basada como ya se ha indicado en corpúsculos, vacío y acción a distancia.

### La síntesis de Kant

Tanto Boscovich<sup>5</sup> como Kant intentaron sintetizar las ideas de Newton y de Leibniz, para unir la contundente ciencia de Newton con la persuasiva metafísica de Leibniz. Ambos abandonaron la idea de que el mundo está *lleno*, que es un campo de materia o de fuerzas. Sin embargo, fue a través de su influencia como Faraday llegó a establecer su teoría de los campos de fuerzas<sup>6</sup>.

### El descubrimiento de Oersted

En 1820 Oersted dio a conocer su descubrimiento de que la corriente eléctrica produce efectos magnéticos, observando como el paso de una corriente eléctrica hace desviarse a una aguja imantada.

Oersted, directamente influido por Kant, era un pensador encuadrado dentro de la tradición antinewtoniana. Su línea de trabajo giraba en torno a la idea de la unidad de las fuerzas, es decir, de que todas las fuerzas son simplemente manifestaciones de las fuerzas atractivas y repulsivas fundamentales (igual que Kant). Siguiendo la idea de la unidad de las fuerzas, a Oersted le parecía que todas las fuerzas debían de ser *directamente* convertibles unas en otras. En un trabajo en el que analizaba la presunta identidad entre las fuerzas químicas y eléctricas, Oersted ya había señalado (1813), antes de su famoso descubrimiento, la importancia de comprobar la interacción entre la electricidad y el magnetismo.

El modelo unificado en el que todas las fuerzas conocidas por entonces (eléctricas, magnéticas, de cohesión, gravitacionales, etc.) se podrían entender como formas distintas de las dos únicas acciones posibles: la repulsión por contacto y la atracción a distancia, parece que fue una guía constante en las investigaciones de Faraday sobre la electricidad y el magnetismo.

## La Física newtoniana de Ampère

Ampère<sup>7</sup> fue uno de los más sorprendidos por el descubrimiento de Oersted. Como muchos otros, era de la opinión de Coulomb de que sólo había interacciones entre la electricidad y la electricidad, y entre los fenómenos magnéticos y los fenómenos magnéticos; es decir, entre fenómenos de la misma naturaleza. Había llegado incluso a "demostrar" en algunas conferencias que los fenómenos eléctricos y magnéticos se debían a dos fluidos diferentes que actúan independientemente uno del otro y además, siempre había creído fervientemente en el programa de investigación newtoniano.

Ampère se enfrentó con el problema siguiente: ¿podría explicarse el experimento de Oersted a partir de una teoría newtoniana? Ampère concibió la posibilidad de que el magnetismo no fuera una sustancia distinta, sino simplemente un aspecto de la electricidad.

Formuló la hipótesis de que si los efectos magnéticos se debían a corrientes eléctricas circulares dentro de los imanes, estas corrientes podían interactuar con las de otros imanes y con las corrientes voltaicas, explicando así el descubrimiento de Oersted. En esa época no se conocía interacción alguna entre las corrientes eléctricas. Ampère realizó experimentos para ver si dos cables por los que pasaba corriente podían interactuar y descubrió que las corrientes eléctricas pueden atraerse o repelerse.

Basándose en estos hechos, Ampère comenzó a desarrollar una teoría newtoniana de la atracción entre corrientes. Supuso, que las secciones infinitesimales de la corriente, denominadas "elementos de corriente", actúan como los puntos máxicos de Newton: la atracción o repulsión se ejerce a lo largo de la línea de unión de dos elementos de corriente; por lo tanto, las fuerzas son *centrales*. Además, la atracción o repulsión son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre los elementos y están en proporción directa a la intensidad de la corriente en cada elemento.

Sin embargo, Ampère tuvo que tener en cuenta los *ángulos* entre los elementos de corrientes para poder explicar su experimento, lo cual constituye de por sí una desviación del modelo newtoniano<sup>8</sup>. Basándose en estas ideas, Ampère construyó una brillante teoría matemática sobre la atracción de las corrientes, teoría que no fue refutada por ningún experimento.

## El electromagnetismo de Maxwell<sup>9</sup>

En el último tercio del siglo XIX James Clerk Maxwell (1831-1879) afronta la matematización del electromagnetismo surgido a partir de las experiencias iniciales de Oersted y Ampère, continuadas por Faraday que introdujo el concepto de campo eléctrico y de campo magnético para delimitar las zonas de influencia de las fuerzas procedentes de cargas y corrientes eléctricas, para el primero, y las relativas a los imanes para el segundo.

Maxwell consigue relacionar en su teoría electromagnética las propiedades de los imanes, los cuerpos electrizados y las corrientes eléctricas, y predice además la propagación de los fenómenos electromagnéticos mediante ondas viajeras a la velocidad de la luz, considerada a partir de entonces como una perturbación electromagnética. El agrupamiento en una teoría única del comportamiento eléctrico, magnético y óptico de la materia supuso el hallazgo de una nueva síntesis científica tan trascendente como la síntesis newtoniana, pilares, ambas, de la física clásica, pero de naturalezas tan diferentes que las contradicciones entre ellas hicieron tambalear los cimientos de aquella física dando paso a una nueva física asentada en los principios establecidos por Planck y Einstein.

## La Física de Einstein

Cuando Albert Einstein nace, en 1879, todavía predominaba la actividad experimental sobre la fundamentación teórica. Se conocía la equivalencia entre el calor y el trabajo mecánico, lo que asociaba el calor con los fenómenos energéticos, aunque todavía se mantuvieran discrepancias sobre si el calor era una sustancia, una forma de energía o un proceso físico; se consideraba la luz como un fenómeno ondulatorio,



modelo triunfante frente a quienes proponían que su naturaleza era corpuscular; el descubrimiento de la reciprocidad entre el magnetismo y las corrientes eléctricas a comienzos de siglo había desembocado en la teoría electromagnética de Maxwell; y eran muchos los experimentos realizados en torno a la producción de radiaciones en el vacío: Röntgen descubrió los rayos X el mismo año, 1895, en que Lorentz propone su teoría del electrón, confirmada experimentalmente al final de siglo por Thomson y Wien; Becquerel descubre el comportamiento radiactivo del uranio (1896).

Al margen de las enseñanzas académicas, que Einstein seguía de manera irregular, se dedicó al estudio de las obras de Maxwell, Hertz, Kirchhoff y Helmholtz, que lo pusieron al día de los últimos avances de la física. También conoció las publicaciones de Ernst Mach<sup>10</sup>, a quien junto a Newton, Maxwell, Lorentz y Planck, consideró Einstein sus precursores.

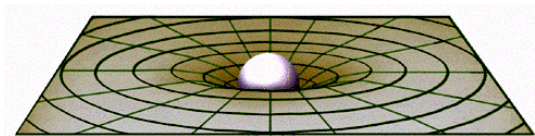
Las explicaciones de *principia mathematica* resolvían todas las observaciones sobre la gravedad en la tierra y en el espacio, pero no explicaban como funcionaba, ni como estaba causada. Por 300 años esta pregunta no fue resuelta.

En 1915 Einstein publicó su teoría general de la relatividad<sup>11</sup>. Einstein estaba de acuerdo con Newton de que el espacio tenía dimensiones y que podía estar lleno de materia. Pero Newton no considero que el espacio estaba afectado por los objetos contenidos en él. Einstein teorizó que una masa podía agujerear el espacio totalmente, que podía deformarlo, doblarlo, empujarlo o jalarlo. La gravedad era un resultado natural de la existencia de una masa en el espacio. Einstein incluyó además una cuarta dimensión al espacio, el tiempo.

De acuerdo con Einstein, la gravedad de un objeto es una curvatura en el espacio. Uno puede visualizar la deformación de la gravedad parándose en un trampolín, en donde la masa de uno causa una deformación en el material del trampolín. De este modo se explican las mismas relaciones newtonianas (y predichas matemáticamente con mayor precisión), pero desde una óptica de un espacio deformado.

Esto afecta a la teoría de Newton. Si como Newton afirmaba, la gravedad era constante, la información sobre un cambio de masa súbito tendría que ser comunicado a todo el universo instantáneamente. Esto no tenía sentido para Einstein. En su razonamiento, si el Sol desapareciera súbitamente, la señal para que los planetas paren de orbitar tendría que tomar un tiempo, y definitivamente tomaría más tiempo llegar a Plutón que a Marte. Nada de esto sería instantáneo.

Einstein aplicó a esta situación el concepto de la deformación del espacio. Al igual que una piedra en el estanque, un cambio de masa causaría una ondulación en el espacio que viajaría de su fuente en todas direcciones, a la velocidad de la luz. Conforme se desplaza, la onda exprime, presiona, estrecha y estira al espacio. Se denomina a esta perturbación una onda gravitacional. De este modo Einstein explicó todo lo que la teoría de Newton hacía y mejor.



Einstein predijo las ondas gravitacionales, pero considero que los científicos no lo descubrirían. Su efecto era demasiado pequeño. Esto recién se descubrió en 1974, como la primera evidencia de la existencia de ondas gravitacionales<sup>12</sup>.

No obstante que cualquier objeto puede generar ondas gravitacionales, solo los extremadamente masivos producen deformaciones en el espacio suficientes para ser medidas. Estas deformaciones se encuentran solo en el espacio cosmológico, como en las orbitas de las estrellas de neutrón, o en los choques de los agujeros negros, o en las supernovas. La investigación que se viene realizando sobre estas ondas gravitacionales permitirá una mayor comprensión de la gravedad<sup>13</sup>, y continuar con la construcción de la Teoría de la ciencia.

## La teoría gravitacional de Newton

Hasta comienzos del siglo XX la *Teoría gravitacional de Newton* permaneció inalterada y sin desafío alguno. No es sino hasta comienzos de este siglo que la evidencia experimental de ciertos fenómenos físicos entran en conflicto con las teorías de Newton. Ello condujo a una grave crisis en la Física. Afortunadamente, Bohr y Einstein, originaron nuevos conceptos y pa-

radigmas con los que se desarrollaron las teorías que compiten con la Física de Newton (*teorías no-newtonianas*). Estas teorías, llamadas *Mecánica cuántica* y la *Teoría de la relatividad general* (TRG), permitieron resolver la crisis en la que la Física estaba sumida.

**Validez de la Teoría gravitacional de Newton** aplicada a diferentes *escalas de distancias*.

En la escala más pequeña, *Escala Atómica*, se considera distancias dentro del átomo. La siguiente, escala intermedia o *Escala Solar* tiene como límite los confines de nuestro sistema solar. Inmediatamente después, se considera una escala aún más grande la *Escala Galáctica* porque considera las distancias de más allá de nuestro sistema solar hasta los límites mismos de nuestra galaxia (*Vía Láctea*). Finalmente, se tiene otra escala mucho mayor aún que se denomina *Escala Cosmológica*, cuyas distancias son del orden de magnitud igual al de “clusters” de galaxias (conjuntos de más de cincuenta galaxias)<sup>14</sup>.

**La TGN a Escala Atómica.**

Como es bastante conocido, desde comienzos de este siglo la Teoría gravitacional de Newton (TGN) falla en los cálculos realizados a escala atómica y debe ser reemplazada por la Mecánica cuántica<sup>15</sup>. Sobre este tema existe abundante literatura, por lo que referimos al lector interesado a consultar, por ejemplo, las referencias 1 y 2 incluidas al final de este artículo.

**La TGN a Escala Solar.**

En esta escala la Teoría gravitacional de Newton (TGN) tiene su mayor éxito, especialmente en su aplicación a la Astronomía y en la predicción del paso de cometas, eclipses, movimiento de planetas, etc.

Sin embargo, en la segunda década de este siglo, Einstein desarrolló una nueva teoría gravitacional --la TRG-- que corrige a la Teoría gravitacional de Newton en la escala solar.

**Correcciones que la Teoría de la relatividad general (TRG) hace a la Teoría gravitacional de Newton en la escala solar (TGN)?**

a) *El corrimiento del perihelio del planeta Mercurio.*

Según la Teoría gravitacional de Newton, los planetas orbitan alrededor del sol siguiendo una trayectoria elíptica cerrada. El planeta al dar una vuelta completa alrededor del sol pasa según la Teoría gravitacional de Newton por el mismo punto. Si este punto es la distancia más cercana al sol, se llama el perihelio. Los astrónomos de fines del siglo XIX habían detectado y medido un corrimiento del perihelio de Mercurio. Este corrimiento del perihelio de Mercurio fue asociado con las perturbaciones de los otros planetas sobre la órbita de Mercurio.

Se ha encontrado que el cálculo de este corrimiento en la TGN difiere del que ha encontrado Einstein aplicando la TRG. A la fecha no se ha encontrado sustento a la predicción de la TGN de que un objeto masivo no esférico producirá un corrimiento del perihelio. Sin embargo, ni los nuevos experimentos ni la tecnología de los años ochenta encontró desviaciones significativas en la esfericidad del Sol.

b) *La desviación de la luz al pasar cerca de un objeto masivo.*

Este fenómeno no tiene una explicación dentro de la Teoría gravitacional de Newton. Sin embargo, la TRG permite predecir y calcular la desviación de la luz al pasar cerca de un objeto masivo. Einstein, utilizando la TRG, fue el primero en calcular la desviación de la luz proveniente de las estrellas lejanas al pasar cerca de nuestro sol. Este valor fue confirmado por el astrónomo inglés Eddington.

A partir de esa fecha se han repetido las observaciones y se ha verificado que las observaciones de la deflexión de la luz son consistentes con la TRG. Hoy en día se estudia la deflexión de la luz al pasar por galaxias para estimar la masa de las galaxias y también para detectar la posible presencia de objetos masivos con poca o ninguna luminosidad.

c) *El retardamiento del tiempo.*

En la TRG los conceptos de espacio y tiempo están entremezclados, mientras que en la Teoría gravitacional de Newton son dos conceptos totalmente independientes. Esto hace que en la TRG se hable de espacio-tiempo como una sola entidad. En la TRG una masa produce una curvatura del espacio-tiempo alrededor de ella, y es por esto que una onda electromagnética pasando cerca de la masa y viajando entre los puntos A y B se demora más que en el caso que la curvatura no existiera (en la Teoría gravitacional de Newton, el espacio alrededor de una masa es plano, no tiene curvatura) o fuera muy pequeña, como entre los puntos B y C. Esto hace que se produzca entonces un retardamiento en el tiempo. Este fenómeno de la relatividad, que no tiene analogía en la Teoría gravitacional de Newton, fue predicho y calculado en la década de los sesenta<sup>16</sup>. La comprobación experimental de este efecto de la relatividad fue realizada por las naves Mariner que viajaron a Marte en el 1969.

***La TGN en las escalas galáctica y cosmológica.***<sup>17</sup>

En estas escalas, y aun con la tecnología disponible, todavía los experimentos y las observaciones son difíciles de hacer y de interpretar. Sin embargo a distancias galácticas existen dos problemas que la Teoría gravitacional de Newton no ha podido resolver hasta el día de hoy en forma satisfactoria y que podrían estar indicando una falla en la física newtoniana. Estos problemas son:

a) ***La masa oscura***<sup>18</sup>

La Teoría gravitacional de Newton permite calcular la velocidad (VN) que podría tener una estrella, digamos, en una órbita circular dentro de una galaxia. Por otro lado, se puede calcular en forma experimental la velocidad (VE) de esa misma estrella. Los resultados experimentales, y aquéllos encontrados usando la Teoría gravitacional de Newton, no coinciden. De hecho  $VE > VN$  (la velocidad experimental es mayor que la velocidad calculada).

Técnicamente, la gráfica de la velocidad vs. la distancia al centro de la galaxia, se llama curva de rotación. Para que los resultados teóricos y experimentales de las curvas de rotación coincidan (sin abandonar la Teoría gravitacional de Newton) deberá haber más masa dentro de la órbita de la estrella de la que la se ve. Es por esto que se postula la existencia de una masa no luminosa, a la cual se le ha llamado masa oscura.

b) ***La inestabilidad de los modelos de galaxias en la Teoría gravitacional de Newton***<sup>19</sup>.

En el estudio de galaxias los modelos que se desarrollan con la Física de Newton requieren asumir otra vez la existencia de masa oscura alrededor de las galaxias para que los modelos newtonianos sean estables.

Sin salirse del marco de referencia de la Teoría gravitacional de Newton, los dos problemas antes mencionados no pueden resolverse sin apelar a la llamada masa oscura. Sin embargo, a pesar de la búsqueda intensa realizada con observaciones desde la tierra y desde satélites, no se ha podido encontrar todavía masa oscura en las cantidades requeridas por la Teoría gravitacional de Newton para reproducir teóricamente las curvas de rotación experimentales y la estabilidad en los modelos de galaxias. Tampoco se sabe con certeza cuál es la naturaleza o qué compone la masa oscura.

***La Teoría Gravitacional de Weyl***<sup>20</sup>.

En 1989, dos científicos de la NASA, D. Kazanas y Manheinn<sup>21</sup>, desarrollaron una nueva teoría gravitacional apelando a un principio físico llamado “invariancia local” y demostraron que las nuevas soluciones exactas encontradas por ellos con esta nueva teoría gravitacional se reducen en nuestro sistema solar a las conocidas de Newton-Einstein, pero difieren de ellas a distancias galácticas y cosmológicas.



Estudios posteriores llevaron a la conclusión preliminar de que la Teoría gravitacional de Weyl (TGW) puede reproducir las velocidades de las estrellas en la galaxia sin asumir la existencia de la materia oscura. Simulaciones numéricas también han encontrado que con la llamada TGW, se pueden desarrollar modelos de galaxias estables, y que se puede solucionar los problemas que se presentan en la Teoría gravitacional de Newton,

Obviamente, esto de por sí no implica que la TGW sea la verdadera y final teoría gravitacional. Eso tendrá dependerá de nuevas observaciones, nuevos experimentos, y de la tecnología del siglo 21.

Al presente, además del interés intrínseco que ofrece la TGW, su estudio permite analizar y reflexionar sobre las debilidades y posibles fallas de las teorías gravitacionales de Newton y de Einstein aceptadas hoy en día en todas las escalas (excepto la atómica) por la comunidad científica.

### ***La investigación de las teorías gravitacionales no newtonianas.***

Las investigaciones recientes demuestran que la Teoría gravitacional de Newton da muy buenos resultados en una escala intermedia, donde el campo gravitacional se debe casi enteramente al producido por la masa del Sol. Sin embargo, el campo gravitacional del Sol es débil en comparación con el producido por objetos compactos, como estrellas enanas, de neutrones o *black holes*. Se ha visto que Teoría de la relatividad general corrige a la Teoría gravitacional de Newton en los campos gravitacionales débiles, y que cientos de experimentos confirman la validez de la TRG en nuestro sistema solar. También parece ser que la Teoría gravitacional de Weyl puede corregir a la Teoría gravitacional de Newton en una escala galáctica<sup>22</sup>.

## **Resultados en esta revisión.**

La teoría de la gravitación de Newton muestra ciertos errores, pero son errores racionales porque lo que estaba erróneo eran los datos que él había utilizado. Si las observaciones futuras demuestran claramente que la relatividad es algo erróneo, es muy posible que lo hagan sin afectar que el trabajo de Einstein fue un trabajo de gran calidad. Newton utilizó la única geometría que se conocía y sus errores proceden de no haber utilizado una geometría que no existía y que sí pudo utilizar Einstein porque se desarrollaron en el periodo temporal entre uno y otro.

Las investigaciones recientes demuestran que la Teoría gravitacional de Newton da muy buenos resultados en una escala intermedia.

Se ha encontrado que con la llamada TGW, se pueden desarrollar modelos de galaxias estables, y que se puede solucionar los problemas que se presentan en la Teoría gravitacional de Newton,

Al presente, además del interés intrínseco que ofrecen las nuevas teorías, su estudio permite analizar y reflexionar sobre las debilidades y posibles fallas de las teorías gravitacionales de Newton y de Einstein aceptadas hoy en día en todas las escalas (excepto la atómica) por la comunidad científica.

Se ha comprobado que Teoría de la relatividad general corrige a la Teoría gravitacional de Newton en los campos gravitacionales débiles, y que cientos de experimentos confirman la validez de la TRG en nuestro sistema solar. También parece ser que la Teoría gravitacional de Weyl puede corregir a la Teoría gravitacional de Newton en una escala galáctica.

Einstein demostró que la física clásica estaba errada cuando trataba de explicar objetos masivos u objetos que viajan a velocidades muy elevadas. En el caso de los objetos más pequeños y lentos, los cuales fueron la base de la física clásica de Newton, la física clásica si es compatible con la física moderna.

Sin embargo Einstein demostró que la relatividad era una corrección a la mecánica clásica y que en un ambiente de baja energía o en un régimen clásico la física relativa y la física de Newton no son equivalentes la una con la otra.

De esta forma entendemos en el siglo XIX a la física clásica, consecuente con las leyes de Newton y cuando ciertos fenómenos no pueden explicarse, surge la mecánica cuántica y en ella notamos que hay una evidente modificación de la física de Newton.

La teoría cuántica y la teoría relativista se complementan, no se contradicen, ambas tienen sus campos de acción y pueden conjuntarse para formar lo que llamamos mecánica cuántica relativista.

En la actualidad los físicos de partículas elementales trabajan con una teoría que se llama teoría de campo, que es básicamente mecánica cuántica relativista, y que viene de la unión de la teoría de la relatividad de Albert Einstein y la mecánica cuántica de Max Planck; entonces no son contradictorias, al contrario se complementan para formar una nueva teoría.



**Max Planck**  
confirmación.

No obstante, no debemos olvidar otras grandes contribuciones de Einstein a la ciencia como su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico, y que además fue quien demostró de forma inequívoca que los átomos eran algo real, además de su trabajo en materia de energía nuclear o de alguna que otra contribución a la cuántica. Sin embargo se debe tener presente que mientras la mecánica cuántica niega algunas nociones newtonianas, también niega alguna de las nociones de la relatividad einsteniana.

Estos conceptos básicos recuerdan que el trabajo científico es ciencia aun cuando sus conclusiones sean erróneas, lo importante es que los errores sean errores racionales y propios del retraso de otras ramas de la ciencia. La epistemología enseña que el conocimiento científico es progresivo y no definitivo, y que siempre esta condicionado a la revisión y a la

## Anexos

### Hitos en la Física

- **En el Siglo XVII**, Newton (1687) formuló las leyes clásicas de la dinámica (Leyes de Newton) y la Ley de la gravitación universal.
- A partir del Siglo XVIII se produce el desarrollo de otras disciplinas tales como la termodinámica, la mecánica estadística y la mecánica de fluidos.
- En el Siglo XIX se producen avances fundamentales en electricidad y magnetismo. En 1855 Maxwell unificó ambos fenómenos y las respectivas teorías vigentes hasta entonces en la Teoría del electromagnetismo, descrita a través de las Ecuaciones de Maxwell. Una de las predicciones de esta teoría es que la luz es una onda electromagnética. A finales de este siglo se producen los primeros descubrimientos sobre radiactividad dando comienzo el campo de la física nuclear. En 1897 Thomson descubrió el electrón.
- **Durante el Siglo XX la Física se desarrolló plenamente.**
- En 1904 se propuso el primer modelo del átomo<sup>23</sup>.
- **En 1905 Einstein formuló la Teoría de la Relatividad especial, la cual coincide con las Leyes de Newton cuando los fenómenos se desarrollan a velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz.**
- En 1915, Einstein extendió la Teoría de la Relatividad especial formulando la Teoría de la Relatividad general, la cual sustituye a la Ley de gravitación de Newton y la comprende en los casos de masas pequeñas.
- Planck, Einstein, Bohr y otros desarrollaron la Teoría cuántica<sup>24</sup> a fin de explicar resultados experimentales anómalos sobre la radiación de los cuerpos.
- En 1911 Rutherford dedujo la existencia de un núcleo atómico cargado positivamente a partir de experiencias de dispersión de partículas.

- En 1925 Heisenberg y en 1926 Schrödinger y Dirac formularon la Mecánica cuántica<sup>25</sup>, la cual comprende las teorías cuánticas precedentes y suministra las herramientas teóricas para la Física de la materia condensada. Posteriormente se formuló la Teoría cuántica de campos para extender la Mecánica cuántica de manera consistente con la Teoría de la Relatividad especial, alcanzando su forma moderna a finales de los 40 gracias al trabajo de Feynman, Schwinger, Tomonaga y Dyson, quienes formularon la Teoría de la Electrodinámica cuántica. Asimismo, esta teoría suministró las bases para el desarrollo de la Física de partículas<sup>26</sup>.
- En 1954 Yang y Mills desarrollaron las bases del Modelo estándar<sup>27</sup>. Este modelo se completó en los años 1970 y con él fue posible predecir las propiedades de partículas no observadas previamente pero que fueron descubiertas sucesivamente siendo la última de ellas el quark top.<sup>28</sup> En la actualidad el modelo estándar describe todas las partículas elementales observadas así como la naturaleza de su interacción.

## Ramas de la Física

Para su estudio la física se puede dividir en tres grandes etapas:

La Física clásica, se encarga del estudio de aquellos fenómenos que ocurren a una velocidad relativamente pequeña comparada con la velocidad de la luz en el vacío y cuyas escalas espaciales son muy superiores al tamaño de átomos y moléculas.

La Física moderna, se encarga de los fenómenos que se producen a la velocidad de la luz o valores cercanos a ella o cuyas escalas espaciales son del orden del tamaño del átomo o inferiores; fue desarrollada en los inicios del siglo XX<sup>29</sup>.

La Física contemporánea, se encarga del estudio de los fenómenos no-lineales, de la complejidad de la naturaleza, de los procesos fuera del equilibrio termodinámico y de los fenómenos que ocurren a escalas mesoscópicas y nanoscópicas. Esta área de la física se comenzó a desarrollar hacia finales del siglo XX y principios del siglo XXI<sup>30</sup>.

Dentro del campo de estudio de la Física clásica se encuentran las siguientes áreas:

- **Mecánica**: mecánica clásica | mecánica de medios continuos | mecánica de fluidos
- Termodinámica y mecánica estadística
- **Mecánica ondulatoria**: acústica | óptica
- **Electromagnetismo**: Electricidad | Magnetismo
- **Relatividad (Electrodinámica)**: teoría especial de la relatividad | teoría general de la relatividad | Gravitación

Dentro del campo de estudio de la Física moderna se encuentran:

- **Mecánica cuántica**: Átomo | Núcleo | Física química | Física del estado sólido
- **Física de partículas**

Dentro del campo de estudio de la Física contemporánea se encuentran:

- Termodinámica fuera del equilibrio: Mecánica estadística | Percolación
- Dinámica no-lineal: Turbulencia | Teoría del Caos | Fractales

- Sistemas complejos: Sociofísica | Econofísica | Criticalidad autorganizada | Redes complejas
- Física mesoscópica: Puntos cuánticos
- Nano-Física: Pinzas ópticas

Últimamente La Real Academia Sueca de las Ciencias ha concedido el premio Nobel de Física 2006 a los astrofísicos estadounidenses John C. Mather y George F. Smoot, descubridores del eco del "big bang", por sus investigaciones sobre la radiación de fondo de las microondas cósmicas y el origen del universo. Octubre de 2006 <sup>31</sup>

Los científicos han sido reconocidos por "su mirada hacia el nacimiento y la infancia del universo" y "sus intentos por entender el origen de las galaxias y las estrellas"; en concreto, "por su descubrimiento de la forma del cuerpo negro y la anisotropía de la radiación cósmica de microondas de fondo".

Se considera que, inmediatamente después del "big bang", el universo puede compararse con un "cuerpo emisor de radiación". En el momento de esa emisión, la temperatura del universo debió ser de al menos 3.000 grados centígrados. Después, y de acuerdo con el escenario del "bing bang", la radiación se enfrió gradualmente, en la medida en que el universo se expandía. Actualmente, la radiación de fondo se calcula 2,7 grados por debajo del cero absoluto.



Gracias a sus experimentos se confirmó que efectivamente se produjo lo que se conoce como "big bang" y se identificaron las perturbaciones de la radiación cósmica, en los primeros segundos tras la explosión que originó el universo.

---

### Referencias

<sup>1</sup> Catedrático de la Universidad Nacional de Ingeniería. Magíster en Ciencias, Diplomado en Planeamiento, Arquitecto.

<sup>2</sup> En una carta remitida el 15 de febrero de 1676 (el 5 de febrero de 1675 en el calendario juliano de la época) a Robert Hooke, Newton dice: *"If I have seen further, it is by standing upon the shoulders of giants"*

<sup>3</sup> Westfall, Richard S.2000, Isaac Newton: Una vida, Cambridge University press, Madrid. Pp. 380

<sup>4</sup> Leibniz, Gottfried Wilhelm von. Die philosophischen Schriften. Edición de C. J. Gerhardt, Berlín, 1885. Reimpresión de 1978: Georg Olms Verlag, Hildesheim / New York.

Leibniz cree que el origen de las dificultades de la filosofía cartesiana está en el hecho de haber considerado la extensión (res extensa) como una sustancia real, existente. Con ello reapareció el viejo problema del continuo, es decir, la materia como algo divisible en siempre divisibles. Leibniz lo llama «Labyrinthus continui», el laberinto del continuo: es fácil entrar en él, pero imposible salir. (Leibniz, Monadología, § 3).

No sigue a Descartes porque el criterio de la evidencia es psicológico y sin garantía. Él confía en que con los símbolos apropiados que representen bien los conceptos, puede seguirse un procedimiento lógico para verificar las verdades.

<sup>5</sup> Boscovich: Científico y filósofo, jesuita. Partiendo de las ideas de Newton y de Leibniz, elabora una concepción del universo según la cual los elementos últimos de la realidad son sustancias simples, puntos metafísicos inextensos, átomos inmatrimales, centro de fuerza de atracción y repulsión. Recuerdan a las monadas de Leibniz, pero se distinguen de ellas porque no tienen actividad consciente, y también porque interactúan unas sobre otras.

<sup>6</sup> Kant sostiene que el espacio está constituido por una parte vacía y fuerzas de diferente índole. Las fuerzas repulsivas ocupan regiones del espacio, donde actúan sobre puntos contiguos; en cambio, no actúan a

distancia. Las fuerzas atractivas, por el contrario, se ejercen a distancia y no ocupan el espacio a través del cual actúan. Un cuerpo material es una región continua del espacio con fuerzas repulsivas en cada punto y bordeado por el vacío, con lo que el cuerpo tiende a expandirse. Pero los mismos puntos llevan asociados fuerzas atractivas que actúan a distancia. La estabilidad observada, y la misma densidad se explicaban como resultado del balance: repulsión por contacto, atracción a distancia y era propio de cada objeto.

<sup>7</sup> Ampère: Matemático y físico francés, generalmente considerado como uno de los descubridores del electromagnetismo. En 1822 estableció los principios de la electrodinámica. Concluyó que la fuerza electromotriz es producto de la tensión eléctrica y de la corriente.

En 1827 publicó su *Teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos*, donde expuso su famosa Ley de Ampère.

<sup>8</sup> La fuerza es máxima cuando los elementos de corriente son paralelos entre sí, y perpendiculares a la línea que los une. En esta situación, elementos de corriente del mismo sentido se atraen, y de sentido contrario se repelen. Cuando el elemento de corriente gira o se desplaza de esta posición y la componente paralela de los elementos disminuye, la fuerza disminuye.

<sup>9</sup> CLERK MAXWELL, James, 1954. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Dover.

TIPLER, Paul (2004), *Physics for Scientists and Engineers: Electricity, Magnetism, Light, and Elementary Modern Physics (5th ed.)*, W. H. Freeman.

<sup>10</sup> MACH, Ernst (1838 - 1916), físico y filósofo austriaco, contribuyó a la formalización matemática de fenómenos ópticos, mecánicos y sobre todo algunos relativos a la propagación de ondas, como su estudio sobre el efecto Doppler y la propagación del sonido. Pero desde donde ejerció mayor influencia fue como filósofo, encuadrado en la escuela denominada "positivista" para quienes sólo tenía validez científica lo conocido mediante la percepción sensorial; su obra *Contribuciones al análisis de las sensaciones* (1886) tuvo mucha difusión.

<sup>11</sup> EINSTEIN, A., 1962, *Relativity. The special and the general theory*, Methven & Co.

<http://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/www/> "On the electrodynamics of moving bodies", el artículo de Einstein donde plantea la re (jun 1905)(traducción al inglés)

RUSELL, Bertrand, *The ABC of Relativity*, 3ª. Ed., New York, A mentor Book from New American Library, 1969.

<sup>12</sup> Dos radio astrónomos, Joseph Taylor y Russell Hulse, confirmaron el descubrimiento de Einstein, recién en 1974.

<sup>13</sup> <http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/NumRel/MoviesEdge.html#WormHolesToWhere?#>

<sup>14</sup> Ver Enciclopedia Standford de filosofía < <http://plato.stanford.edu/entries/newton-stm/> >

OHANIAN, Hans C., Ruffini, Remo, *Gravitation and Spacetime* (1994).

Contenido: Teoría gravitacional de Newton; El formalismo de la relatividad especial; La aproximación lineal y aplicaciones. Ondas gravitacionales; Geometría riemanniana.

< [http://en.scientificcommons.org/hans\\_c\\_ohanian](http://en.scientificcommons.org/hans_c_ohanian) >

<sup>15</sup> MESSIAH, A.. *Quantum Mechanics* (1960). John Wiley and Sons, New York.

CHESTER, M.. *Primer of Quantum Mechanics*. (1987) John Wiley and Sons, New York .

<sup>16</sup> SHAPIRO, I.I., et. al., *Phys. Rev. Lett.* (1966) 17, 933. Article{PhysRevLett.17.933, title = {Radar Verification of the Doppler Formula}, author = {Shapiro, Irwin I. and Ash, Michael E. and Tausner, Menasha J.}.

<sup>17</sup> COHEN I. Bernard and Anne Whitman, translators: *Isaac Newton, The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Preceded by *A Guide to Newton's Principia*, by I. Bernard Cohen. University of California Press 1999

<sup>18</sup> < <http://axxon.com.ar/zap/c-zapping0156.htm> >

<sup>19</sup> LONGAIR, Malcolm, S., *Galaxy formation*, Springer - Verlag, 1999.

PEACOCK, John A., *Cosmological physics*, Cambridge University Press. 1999.

COLES, P. y Lucchin, F., *Cosmology: the origin and evolution of cosmic structure...* Wiley Interscience. 1995.

<sup>20</sup> < <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/Biographies/Weyl.html> >

HAWKING, S.W. & W. Israel, *General Relativity*, Cambridge U.P. (1979)

HAWKING, S.W & W. Israel, *300 years of Gravitation*, Cambridge

DODELSON, S., *Modern Cosmology*, Academic Press (2003)

<sup>21</sup> MANNHEIM, P. D. and Kazanas, D. *Ap. J.* (1989) 342, 635.

KAZANAS, D., 1991, Astrophysical aspects of Weyl gravity, in Nonlinear Problems in Relativity and Cosmology, Proceedings of the Sixth Florida Workshop on Nonlinear Astronomy, University of Florida, October 1990. Edited by J. R. Buchler, S. L. Detweiler, and J. R. Ipser, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 631, 212. G/A

KAZANAS, D., and Manheim, P.D. 1991a, *Ap. J. Suppl. Ser.* 76, 431. G/A

KAZANAS, D., and Manheim, P.D. 1991b, Dark matter or new physics?, in Proceedings of the "After the First Three Minutes" Workshop, University of Maryland, October 1990. A. I. P. Conference Proceedings No. 222, edited by S. S. Holt, C. L. Bennett, and V. Trimble, A. I. P. (N. Y)

MANNHEIM, P. D. and Kazanas, D. *Phys. Rev.* (1991) D44, 417

<sup>22</sup> MESSIAH, A. *Quantum Mechanics* (1960). John Wiley and Sons, New York.

MESSIAH, Albert, *Quantum Mechanics* (Vol. I), English translation from French by G. M. Temmer, fourth printing 1966, North Holland, John Wiley & Sons.

CHESTER, M. *Primer of Quantum Mechanics*. (1987) John Wiley and Sons, New York. Ed. Dover - 1ª - 1987

<sup>23</sup> El concepto de átomo como bloque básico e indivisible que compone la materia del universo ya fue postulado por la escuela atomista en la Antigua Grecia. Sin embargo, su existencia no quedó demostrada hasta el siglo XIX. Con el desarrollo de la física nuclear en el siglo XX se comprobó que el átomo puede subdividirse en partículas más pequeñas.

<sup>24</sup> Las suposiciones más importantes de esta teoría son las siguientes:

- La energía no se intercambia de forma continua, sino que en todo intercambio energético hay una cantidad mínima involucrada, es decir un cuanto (cuantización de la energía).
- Al ser imposible fijar a la vez la posición y el momento de una partícula, se renuncia al concepto de trayectoria, vital en mecánica clásica. En vez de eso, el movimiento de una partícula queda regido por una función matemática que asigna, a cada punto del espacio y a cada instante, la probabilidad de que la partícula descrita se halle en tal posición en ese instante (al menos, en la interpretación de la Mecánica cuántica más usual, la probabilística o interpretación de Copenhague). A partir de esa función, o función de ondas, se extraen teóricamente todas las magnitudes del movimiento necesarias.

Aunque la estructura formal de la teoría está bien desarrollada, y sus resultados son coherentes con los experimentos, no sucede lo mismo con su interpretación, que sigue siendo objeto de controversias.

<sup>25</sup> La mecánica cuántica, conocida también como mecánica ondulatoria y como física cuántica, es la rama de la física que explica el comportamiento de la materia a escala muy pequeña. (Estrictamente, su campo de aplicación pretende ser universal, pero es en "lo pequeño" donde sus predicciones divergen radicalmente de la llamada física clásica).

<sup>26</sup> La Física de Partículas o Física de Altas Energías es la rama de la Física que estudia los componentes elementales de la materia y las interacciones entre ellos.

Las partículas fundamentales se subdividen en bosones (partículas de espín entero como por ejemplo 0, 1, 2...), que son las responsables de transmitir las fuerzas fundamentales de la naturaleza, y fermiones (partículas de espín semientero como por ejemplo 1/2 ó 3/2).

<sup>27</sup> El **modelo estándar** de la física de partículas es una teoría que describe tres de las cuatro interacciones fundamentales conocidas entre partículas elementales que componen toda la materia. Es una teoría cuántica de campos desarrollada entre 1970 y 1973 que es consistente con la mecánica cuántica y la relatividad especial. Hasta la fecha, casi todas las pruebas experimentales de las tres fuerzas descritas por el modelo estándar están de acuerdo con sus predicciones. Sin embargo, el modelo estándar no alcanza a ser una teoría completa de las interacciones fundamentales debido a que no incluye la gravedad, la cuarta

interacción fundamental conocida, y debido también al número elevado de parámetros numéricos (tales como masas y constantes que se juntan) que se deben poner a mano en la teoría (en vez de derivarse a partir de primeros principios).

<sup>28</sup> En la física de las partículas los **quarks** son los fundamentales constituyentes de la materia, además de los leptones. Los quarks son las únicas partículas fundamentales que interactúan con las cuatro fuerzas fundamentales. El **quark Top** en inglés, es una partícula elemental que pertenece a la tercera generación de quarks.

<sup>29</sup> <<http://www.explora.cl/otros/fisica2005/historia.html>>

<sup>30</sup> SACHS, Mendel, 2007, CONCEPTS OF MODERN PHYSICS, The Haifa Lectures, *The State University of New York, Buffalo, USA*

<sup>31</sup> HAWKING, S. W. *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*. Barcelona: Círculo de Lectores, 09/1991.  
WEINBERG, STEVEN, *Los tres primeros minutos del universo*, Alianza, Madrid (1999).