

Acerca de la Cátedra:



"Principia"

- 28 de mayo de 2005 -

*"La naturaleza y sus leyes
yacían ocultas en la noche. Dijo
Dios, sea Newton, y fue la luz".*

Alexander Pope

INTRODUCCIÓN

Uno de los más grandes descubrimientos en la historia de la ciencia parece que tuvo su origen, según la opinión general, en el más *sutil* de los acontecimientos. El año era 1666, y durante algún tiempo Inglaterra había estado sufriendo el terrible azote de la peste bubónica. Puesto que la Universidad de Cambridge había cerrado para impedir que la enfermedad se extendiera entre la población estudiantil, un joven estudiante llamado Isaac Newton, que había recibido su licenciatura en abril de 1665 e iba a iniciar su trabajo como posgraduado, se vio obligado a proseguir sus estudios en casa, en el pueblo de Woolsthorpe, a unos cien kilómetros al noroeste de Cambridge. Encerrado en su estudio, que dominaba un huerto de manzanos de la granja familiar, se sumergió en su tema favorito: *las matemáticas*, empleando una nueva forma de ellas –hoy llamada cálculo diferencial– que había inventado él mismo para investigar el comportamiento de los objetos en movimiento. Sobre todo los cuerpos celestes como los planetas y la Luna.

Unos cincuenta años antes, el astrónomo alemán Johannes Kepler revolucionó el estudio de la mecánica celeste con las primeras descripciones exactas de los movimientos planetarios, pero hasta entonces nadie había captado todavía el principio subyacente que explicaba por qué los planetas se comportaban como la hacían, por qué, por ejemplo, aquellos más alejados del Sol se movían más lentamente en sus órbitas que los más cercanos. Un día, probablemente a finales del verano de 1666, Newton tuvo una repentina y profunda intuición que resolvió el misterio. Las circunstancias exactas de este destello de comprensión se han perdido para la historia, pero muchos años más tarde el matemático recordaría que se había sentido inspirado al ver caer una manzana de un árbol al otro lado de su ventana.

Lo que Newton comprendió fue que la fuerza gravitatoria que hace que una manzana caiga al suelo es la que retiene también a la Luna y la sujeta en su órbita. Un objeto lanzado paralelo a la superficie de la Tierra, argumentó, está sometido a la vez a su velocidad (impulso) y a la atracción gravitatoria, y en consecuencia se mueve constantemente tanto de forma horizontal como hacia abajo, describiendo una trayectoria curva. Finalmente golpea el suelo

porque la *gravedad* es más fuerte que la impulsión del objeto y hace que éste caiga más rápido de lo que viaja horizontalmente. Si la *gravedad* fuera más débil que el impulso hacia delante del objeto, éste seguiría una trayectoria “*recta*” y sería lanzado hacia el espacio, mientras la superficie se curvaba hacia abajo a sus pies. Pero – y aquí estaba la intuición crucial –, si gravedad y velocidad estuvieran exactamente equilibradas, la distancia que caería el objeto se vería contrarrestada por su avance horizontal, y nunca alcanzaría el suelo: se situaría en órbita alrededor de la Tierra, como la Luna.

Newton procedió a probar matemáticamente su suposición. Razonó que la fuerza gravitatoria era proporcional a la masa y que la gravedad de los cuerpos grandes como la Tierra podía considerarse que emanaba desde un punto en su centro. Suponiendo, como nadie lo había hecho antes, que la gravedad se extiende hacia el espacio, dedujo que su fuerza tenía que disminuir en proporción al cuadrado de la distancia por lo que se propaga, un principio conocido como la “*ley de la inversa del cuadrado*”. Según las estimaciones de la época, la Luna estaba a 386.000 Km. del centro de la Tierra, unas 60 veces más lejos de lo que estaba la manzana en el árbol; en consecuencia, estaba sometida a 3.600 veces menos *gravedad*. Sabiendo cuál era la fuerza de la *gravedad* en la superficie de la Tierra – que aceleraba un objeto aproximadamente 10 metros por segundo en cada segundo de caída, según había cuantificado Galileo Galilei –, calculó rápidamente la velocidad a la que la Luna tendría que girar alrededor de la Tierra a fin de vencer el más débil tirón de la *gravedad* a aquella distancia y permanecer en órbita, al igual que el tiempo en desarrollar la misma. El resultado de Newton, 29,3 días, estaba descorazonadamente lejos del tiempo observado de 27,3 días.

Varios años más tarde, sin embargo, los científicos llegaron a una nueva y más exacta estimación del radio de la Tierra, que dio un resultado algo superior. La revisión situó en línea los cálculos de Newton, confirmando con ello que la *gravitación* no era un fenómeno sólo terrestre sino universal. Explicaba la órbita de la Luna, así como las órbitas de todos los demás planetas del sistema solar. Los descubrimientos de Kepler tenían ahora completo sentido: los planetas exteriores se mueven más lentamente porque la gravedad del Sol es más débil allí.

La teoría de Newton de la gravitación, como la designó formalmente en **“Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”**¹, publicados en 1687, hicieron más por explicar el funcionamiento básico del universo que cualquiera de las ideas que la precedieron. Su perdurable influencia en el transcurso de la investigación científica no puede pasarse por alto. Permaneció sin rival durante más de 200 años, y sentó las bases de las grandes teorías del siglo XX que finalmente la sustituirían. Sus fórmulas aún sirven para describir la mayor parte de los acontecimientos físicos que se producen en el cosmos; sólo a velocidades y masas extremas ofrecen las ecuaciones de la **“Teoría de la Relatividad”**, de Albert Einstein, un cuadro más exacto.

La teoría de la gravitación universal – una obra de significado sin paralelos– seguía una tradición secular. La ciencia ha buscado siempre los principios fundamentales que subyacen en los complejos y diversos fenómenos físicos, intentando a todos los efectos reducir la naturaleza a sus mínimos denominadores comunes. Estos intentos de unificar realidades distintas recorren todo el camino hacia atrás hasta las afirmaciones de Aristóteles referidas a los cuatro elementos fundamentales que constituían la naturaleza: tierra, aire, fuego y agua. Parte del genio de Newton brota de su anhelo hacia la *unificación*, que lo condujo a ver que las manzanas que caían y los planetas en órbita eran tan sólo distintas manifestaciones de la misma ley física. Descubre una de las cuatro fuerzas, conocidas hasta el momento, que gobiernan el universo². Esta tendencia siempre estuvo presente hasta la actualidad, y continúa, cuando se encuentra a científicos de la talla de Stephen Hawking, en su búsqueda de una *teoría cuántica de la gravedad*, que lo induce a formularse interrogantes como: *“¿puede haber una teoría unificada que explique la evolución del universo? o ¿estamos tal vez persiguiendo únicamente un espejismo?”*.

Las leyes de Kepler del movimiento planetario se refieren al conjunto, son integrales. La ley de Newton de la gravitación universal, por el contrario es diferencial, permite deducir el estado que tendrá un sistema a partir del que tenía un instante anterior; por definición satisface la causalidad y el determinismo en la ciencia. Antes de Newton no había ningún sistema de

¹ Principios Matemáticos de Filosofía Natural

² Las otras tres fuerzas conocidas con posterioridad son: electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

causalidad física. Con Newton el peso de un cuerpo sobre la superficie terrestre se identifica con la fuerza de atracción entre los astros, el movimiento de los proyectiles con el curso de los satélites; las mareas se explican por la atracción luni-solar; se calculan las perturbaciones entre los planetas; se calculan las órbitas de los cometas; se predice el achatamiento del globo terrestre; se explica la precesión de los equinoccios por la atracción del Sol sobre el abultamiento ecuatorial terrestre. Después de Newton los grandes matemáticos pudieron extender los dominios de la razón a todos los rincones del sistema solar. La importancia filosófica de la obra de Newton es extraordinaria; la forma en que el ser humano enfrentó la naturaleza el siglo XVIII y XIX es una consecuencia de los descubrimientos del gran sabio inglés.

Kepler, y esto le confiere señalada jerarquía en su hazaña en busca de una imagen cósmica más realista, puso las cosas en su lugar en lo referente al sistema solar, pero las ideas y concepciones sobre todo el universo seguían siendo todavía vagas y contradictorias. Todos los astrónomos, pensadores y hombres de ciencia que vivieron en el medio siglo comprendido entre los **“Diálogos”** de Galileo y los **“Principia”** de Newton, se resistían al movimiento de la Tierra y se sentían acobardados por las ideas dogmáticas y confesionales prevalecientes durante la Edad Media.

Pero un hombre, sin abandonar sus propias creencias religiosas, con su genial posición tiene una trascendencia y un inigualado significado dentro del proceso que se inicia en la humanidad para esclarecer las ideas cosmológicas y de la configuración del universo. Isaac Newton que con su genio provocó el derrumbe definitivo de las antiguas concepciones y abrió las puertas para que la mente del hombre, hasta entonces aprisionada por las enmohecidas rejas del escolasticismo, volara libre de toda traba. Newton elevó la universalidad de las leyes físicas a su máxima expresión. Sobre su mecánica racional se tuvieron que afirmar los avances científicos y tecnológicos de los siglos XVIII y XIX y aun gran parte de los de nuestra centuria.

Así, para Newton, el universo considerado como un todo, era estático. También pensaba que el universo no podía estar expandiéndose o contrayéndose globalmente puesto que, según él, tales movimientos requieren por necesidad de un centro, tal como una explosión tiene su centro. Y la materia esparcida en un espacio infinito no define ningún centro. En

consecuencia, estudiando los hechos hacia el pasado, el cosmos debía ser estático; o sea, terminó sustentando la tradición aristotélica de un cosmos sin alteración. Consignemos aquí que, a fin de cuentas, la gracia que nos legó Aristóteles nos persiguió hasta fines de la década de 1920, ya que sólo entonces, esa tradición, se empezó a cuestionar debido a las evidencias observacionales.

Pero este genio era también un hombre de fe religiosa. Es así que, en las mismas **"Principia"**, Newton describe al espacio: *"El Dios Supremos es un Ser eterno, infinito, absolutamente perfecto... Perdura eternamente y es omnipresente; y esta existencia eterna y omnipresencia constituyen la duración y el espacio"*. Igualmente, Newton sostiene que: *"este bellísimo sistema de Sol, planetas y cometas sólo podría provenir de la sabiduría y dominio de un Ser poderoso e inteligente"*.

Los méritos de Newton no se reducen al campo de la mecánica y las matemáticas; también la óptica supo de su talento. Descubrió que la luz blanca puede ser descompuesta en todos los colores del arcoiris al hacerla pasar por un prisma, iniciando con ello el análisis espectral, base de la astrofísica contemporánea. Además Newton construyó un telescopio reflector. Sus estudios sobre la luz lo llevaron a publicar en 1704 su **"Tratado Sobre Óptica"**. Los últimos años de su vida los destino a profundas meditaciones teológicas, alejado casi totalmente de aquellos quehaceres intelectuales para los cuales no tuvo rival.

Con la publicación de la **"Principia"** Isaac Newton entrega una herramienta fundamental para la cosmología: la gravitación universal. Newton no abordó el problema cosmológico de una manera directa, pero sí lo tocó en la correspondencia que sostuvo con el reverendo Richard Bentley, quien estaba preocupado de demostrar la existencia de Dios mediante la ley de gravitación universal. Para ello le pidió a Newton la aclaración de algunos puntos sobre su teoría; le manifiesta que un universo finito, estático, sería inestable y colapsaría gravitacionalmente hacia su centro. Esto se debe a que las estrellas del borde del universo sentirían una fuerza neta que las obligaría a moverse hacia el centro. Así el universo se haría más chico y más denso. La alternativa de un universo infinito también preocupaba a Bentley, pues en ese caso la Tierra sería atraída en todas direcciones del universo con una fuerza infinitamente

grande y la suma de todas esas fuerzas debería ser nula; argumenta que la atracción que el Sol ejerce sobre la Tierra pasaría inadvertida entre tantos infinitos y por ende no le quedaba claro por qué la Tierra orbita alrededor del Sol y no camina simplemente en línea recta como un cuerpo sobre el cual no hay fuerzas netas.

Newton estuvo de acuerdo con Bentley en los problemas de un universo finito y argumentó que el universo debería ser infinito y que si la Tierra es atraída en todas direcciones con una fuerza infinita la resultante es cero y si luego agregamos la fuerza atractiva del Sol, ella la hará girar a su alrededor. Por último Bentley señala que un universo infinito podría estar en equilibrio, pero sería inestable, pues al menor aumento de densidad las estrellas se atraerían más y se juntarían más, haciendo que el aumento de densidad creciera. Newton tuvo que concordar con Bentley en la inestabilidad del universo homogéneo e infinito.

Son muchos los historiadores de la ciencia que mencionan al año 1666 como **“annus mirabilis”**³. Dentro de la historia de la física, y con inquietantes parecidos, sólo ha existido otro año adjetivable de tal, 1905, cuando Albert Einstein con sus 26 años de edad formula las bases para su futura **“Teoría de la Relatividad”**, donde modifica sustancialmente los aspectos teóricos de la **“Ley de Gravitación Universal”** de Newton, que lejos de considerarla errónea u obsoleta, la realza, puesto que éste no disponía de los avances tecnológicos con que se contaron al momento de su formulación y que permitieron conocer nuevos datos del comportamiento del macrouniverso con excelente aproximación cuantitativa y cualitativa. Sin embargo, se sigue usando la teoría de la mecánica de Newton para todos los propósitos prácticos ya que las diferencias entre sus predicciones y las de la relatividad general son muy pequeñas en las situaciones que normalmente incumben en la vida cotidiana o en un universo a pequeña escala. Es por esta razón, de gran aproximación a una realidad sensible a los sentidos, que tanto la **“Ley de gravitación”** de Newton –y las leyes que de ella derivan– como las herramientas matemáticas del cálculo diferencial e integral, se enseñan actualmente en todos los niveles educativos a escala mundial.

³ “Año milagroso”.

Fundamentación:

¿Por qué bautizar “*Principia*” a una Cátedra?

La obra monumental “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, comúnmente conocida como “*Principia*”, en la cual expone los fundamentos matemáticos del universo aplica por igual su nueva ley de gravedad a los arcos descritos por las balas de cañón, que a las órbitas de los satélites y planetas y a las trayectorias de los cometas, calculando con rigor matemático, sus posibles rutas en forma detallada. Newton en su camino a la cima intelectual que representa los “*Principia*” inventó el cálculo de “*fluxiones*” –nuestro moderno cálculo diferencial e integral– que hubiese sido por sí solo mérito suficiente para situarlo entre los grandes intelectuales de la humanidad. Gracias a su rigor analítico extraordinario y a su nueva y poderosa herramienta matemática, el “*cálculo infinitesimal*”, Newton logró resultados donde muchos intelectuales de su época caminaban en las tinieblas.

Como dijo Schlick⁴: “no se puede hablar de una geometría determinada del espacio sin tener en cuenta la física y el comportamiento de los cuerpos de la Naturaleza” .

Teniendo en cuenta lo expresado precedentemente, considerar la posibilidad de generar un espacio y bautizarlo “*Principia*”, intenta simplemente, por un lado alentar a docentes y alumnos a manifestar sus potencialidades a través de trabajos, de investigación y extensión, que involucren temáticas relacionadas con las ciencias en general, y por el otro, rendir un sencillo homenaje a un gran genio que alguna fue docente titular de la cátedra “*Lucasian*” en la Universidad de Cambridge.

⁴ Schlik: “Espace et temps dans la physique contemporaine”

Objetivos de la Presente Propuesta:

- 1. Alentar el espíritu de investigador científico entre los miembros de la comunidad educativa del ISFD Suzuki.*
- 2. Promover la búsqueda de información mediante la visita a bibliotecas, empresas, organismos y entidades que puedan ofrecer datos para tal fin.*
- 3. Interpretar las implicancias de implementar actividades de divulgación científica, a través de jornadas, en distintos ámbitos como ser institutos de formación docente, universidades, entidades de bien público, etc.*
- 4. Valorar la importancia de desarrollar técnicas de investigación para una formación profesional integral en el campo docencia.*

Bibliografía consultada:

Bachelard, Gastón, «El nuevo espíritu científico», Editorial Nueva Imagen.

Sagan, C., «Cosmos», Barcelona, Editorial Planeta.

Hawking, Stephen W, «Historia del Tiempo», Editorial Planeta Agostini.

TIME-LIFE, «Claves del Universo» (Tomo 37).