

La historia de la ciencia como herramienta didáctica: la enseñanza de la gravedad

The science history as a didactic tool: teaching gravity

Vicente Menéndez

Instituto Superior de Formación Docente N°117, Tres de Febrero 1810,
CP. 1646 San Fernando, Provincia de Buenos Aires. Argentina.

E-mail: titomen58@yahoo.com.ar

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación histórica, con contenido epistemológico, es mostrar la importancia de la historia como herramienta didáctica. Tomaremos como ejemplo, el fenómeno de atracción gravitatoria. Haremos el desarrollo histórico de este fundamental concepto: como se lo pensó, e intentó explicar, desde la antigüedad hasta nuestros días.

Palabras clave: Gravedad; Enseñanza; Física; Historia.

Abstract

The objective of this historical research work, with epistemological content, is to show the importance of history as a didactic tool. We will take as an example, the phenomenon of gravitational attraction. We will make the historical development of this fundamental concept: as it was thought, and tried to explain, from antiquity to our days.

Keywords: Gravity; Teaching; Physics; History.

I. INTRODUCCIÓN

Pensamos que enseñar la atracción gravitatoria, como si fuese un hecho natural, y postular la ecuación de fuerza de atracción entre dos masas, sin una mínima introducción histórica, de cómo se pensó dicho fenómeno, desde la antigüedad hasta nuestros días, es perder un valor agregado importante, dado que la gravedad tiene una muy rica historia. Conocerla, ayuda a entender mejor el fenómeno. Podemos decir que comienza con Aristóteles en el siglo III a. C. y continúa con la detección de las ondas gravitacionales, hace un par de años. En este sentido, nuestro trabajo de investigación histórica, ha consistido en buscar cómo se pensó y trató de explicar la caída de los cuerpos en diversas épocas. Para ello hemos usado tanto fuentes primarias, como secundarias, que son las que se encuentran en las Referencias al final del trabajo, y también, obviamente, textos diversos de epistemología e historia de la ciencia.

Primero debemos aclarar que nos enfrentamos a una cuestión epistemológica: ¿por qué fueron los antiguos griegos quienes pensaron en la existencia de una “causa” para la caída de los cuerpos? La pregunta no es menor, dado que otras culturas no se hicieron preguntas de este tipo. Es interesante señalar que la pregunta guía la investigación, dado que el solo hecho de la pregunta, es el reconocimiento de la existencia de un problema. Nadie investiga aquello que no advierte como problema. Se debe destacar, que lo que es percibido como problema para algunos, no lo es para otros. Como ejemplo interesante, el movimiento irregular de los planetas, fue un serio problema para los astrónomos griegos. Estos, pensaban que en el universo más allá de la Luna, incluida esta) el movimiento de los astros debería ser perfecto y de forma circular. Para los astrónomos chinos, en cambio, sin ese prejuicio, no veían ninguna dificultad en el movimiento planetario irregular.

Fue a partir de Tales de Mileto (siglo VI a. C.) que se comenzó a pensar el actuar de la naturaleza sin la intervención de mitos. Este hecho excepcional, en acuerdo de los historiadores, dio nacimiento a la Filosofía natural (lo que a partir del siglo XIX se llamará ciencia). Sucedió en las antiguas colonias griegas del mar Egeo, y es conocido en la historia como “el milagro griego”. Aristóteles, el más conocido y famoso filósofo natural de la Antigüedad, piensa y explica el mundo sin recurrir a mitos, creando una particular cosmología que será aceptada desde el siglo III a. C., y comenzará a resquebrajarse recién en el Renacimiento europeo.

II. DESARROLLO

A. Cómo pensó Aristóteles la gravedad

Para el sabio griego, los cuerpos poseen la “tendencia” a ocupar el centro del universo, o sea el centro de la Tierra, ya que, en la cosmología aristotélica, esta, ocupa ese lugar de privilegio: Tierra inmóvil y en el centro del mundo. Mundo que es cerrado y no infinito, ya que, si lo fuese, no tendría centro. Debido a tal tendencia, los cuerpos caen verticalmente en dirección al centro de la Tierra. En dicha cosmología, que explica el actuar de la naturaleza en función de una finalidad (explicación teleológica) los cuerpos caen porque su “finalidad” es ocupar el centro del mundo. También, por la antigua teoría de los cuatro elementos: aire, tierra, fuego y agua, solamente los elementos térreos y acuosos caen hacia el centro, mientras los ígneos y aéreos, por el contrario, se alejan del centro, o sea van hacia arriba (Boido, 1996, pp. 32 y 33).

Tal explicación es la que perdura durante la Antigüedad y la Edad Media, o sea por casi dos mil años en la cultura occidental. No encontramos durante este largo período ningún otro pensador, que expusiese críticas a la idea de gravedad aristotélica.

Pero a partir de la hipótesis heliocéntrica copernicana, y de una Tierra en movimiento, se comienza a derrumbar esta cosmología, en particular con las ideas de Galileo, que dan origen a la nueva física, y continuando con Newton, con quien quedará bien definida la cosmología mecanicista, para explicar el actuar de la naturaleza, mediante el uso de leyes de carácter matemático.

B. Cómo pensaron el fenómeno gravitatorio los principales actores de la revolución científica

En “Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias”, Galileo expresa (a través de Salviati, personaje que lo representa a el mismo) “*que un cuerpo pesado tiene por naturaleza, un principio intrínseco que lo mueve hacia el centro común de los graves, (esto es, hacia el centro de nuestro globo terrestre) con movimiento continuamente acelerado*” (Galileo, 1996, p 164) Se nota aquí un resabio aristotélico, pero observamos en la lectura de su libro, que solo le interesa estudiar *cómo caen y no porqué lo hacen*.

El contemporáneo de Galileo, Rene Descartes, uno de los padres fundadores del mecanicismo, considera que todo movimiento tiene por causa el choque de cuerpos. En su cosmología es central la existencia de un “éter turbillonario”, partículas imponderables que giran constantemente en todo el universo, y que, al chocar con los cuerpos, envían a estos hacia abajo. Este éter turbillonario es el responsable, no solo de la caída de los cuerpos, sino también del movimiento lunar y planetario (Boido, 1996, pp. 322-323).

Es notable la cuestión epistemológica respecto de la hipótesis cartesiana: nadie observa fuerzas, solo observamos movimiento. Más aún, si nosotros queremos mover un cuerpo, debemos hacer “chocar” por ejemplo, nuestra mano, con dicho cuerpo.

Para Newton, en cambio, la caída de los graves se debe a la atracción terrestre: la Tierra ejerce una fuerza sobre los cuerpos, (el peso de los mismos) llamada atracción gravitatoria, tal como seguimos explicando en la actualidad cuando enseñamos la mecánica clásica. Pero Newton no puede explicar el porqué de la atracción gravitatoria. Respecto de esto último, es famosa su frase: “hipótesis non fingo” (en latín: no invento hipótesis). La explicación de la acción a distancia es el principal problema del mecanicismo durante los siglos XVII y XVIII, cuestión que será resuelta recién hacia mediados del siglo XIX cuando Faraday introduzca la noción de campo para explicar los fenómenos de fuerzas de origen eléctrico y magnético, extrapolándose también al caso gravitatorio. Solo que, en este último, tenemos la particularidad de fuerzas solo atractivas y no de atracción y repulsión.

Se desató una fuerte controversia: los newtonianos aborrecían de la explicación cartesiana, argumentando que las partículas de ese éter eran pura fantasía ya que no se las puede observar. A esto, los cartesianos replicaban, que la explicación por un “extraño poder de atracción” era tan metafísica como la explicación aristotélica de la “tendencia” a caer hacia el centro de la Tierra. En principio lo dicho por Descartes parece más racional: nunca nadie vio una fuerza: solo vemos movimiento.

Debemos destacar aquí una cuestión teológica: para Descartes, Dios había puesto el movimiento en el mundo y este deberá conservarse. El movimiento es causado por el choque de cuerpos. Por ello es que su principal trabajo experimental en física, es acerca del choque de cuerpos y la búsqueda de un principio de conservación del movimiento, cuestión que logrará formalizar Huygens, introduciendo el concepto vectorial en la magnitud cantidad de movimiento.

Pero la batalla estaba ganada por la cinemática galileana y la dinámica de Newton, que con sus ecuaciones matemáticas describen con precisión la caída de cuerpos. Más todavía quedaba pendiente la gran pregunta: ¿por qué caen los cuerpos?

El contemporáneo de Newton y genial físico holandés, Cristian Huygens, adherente a las ideas de Descartes, expuso su teoría de la causa de la gravitación en la Academie Royale des Sciences en agosto

de 1669 y lo publicó como apéndice en el *Traité de la Lumiere*, como *Discurso sobre la causa de la gravedad* en 1690, escrito después de su lectura de los *Principia* newtonianos. Huygens fue uno de los numerosos científicos de su tiempo que no estaba de acuerdo con la concepción de la fuerza como acción a distancia. Para él, como para muchos otros, aceptar esto significaba una rendición del razonamiento científico a las concepciones herméticas de las cualidades ocultas de la materia. Dice que, en su opinión, la gravedad es el resultado de un medio etéreo en movimiento de remolinos alrededor de la tierra, y en todas direcciones, causando, por contacto, que los cuerpos sean llevados hacia la superficie de la Tierra. Es interesante advertir cómo aquí se apoya en una experiencia para “demostrar” su teoría de la gravedad: ha preparado una mesa rotante y coloca encima y en el centro, un vaso cilíndrico herméticamente cerrado, que contiene agua y algunos pedacitos de cera. Al hacer girar rápidamente la mesa, se observa el movimiento circular del agua y de las partículas de cera hacia los bordes del vaso. Luego frena abruptamente el movimiento de la mesa; el agua sigue girando dentro del vaso y los pedacitos de cera se ven cayendo en remolino hacia el centro del vaso. Este movimiento centrípeto, dice Huygens, es una exacta reproducción del mecanismo gravitatorio (D’Elia, 1985, p. 197).

Otro físico importante del siglo XVII, Robert Hooke, sostuvo que la atracción gravitatoria es una fuerza que actúa sobre los cuerpos, y cuya intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia de alejamiento entre los cuerpos y la Tierra, tal como postulará Newton algo más tarde. A partir de aquí hubo un gran encono de Hooke hacia Newton, ya que este se adjudicó la paternidad de la idea. Encontramos que la teoría de Hooke o teoría vibratoria de la gravedad la expone en *Of Comets and Gravity* (Hooke, 1969, pp. 184-185). Rechaza la explicación por circulación vorticial de Descartes como así también las hipótesis magnéticas de Gilbert y Kepler. Indica allí que los cuerpos vibran contrayéndose y expandiéndose, con lo que transmiten esa vibración al medio etéreo. Dicha vibración se expande esféricamente, como una ondulación longitudinal que disminuye del mismo modo en que crece la superficie esférica, esto es, con el cuadrado del radio; y como el éter es muy fluido, penetra en los cuerpos que se hallan en el campo de acción del cuerpo central y, con su movimiento de vaivén, los hace aproximarse a él. La fuerza atractiva es para Hooke, causada por una vibración que desde la Tierra se va alejando y disminuyendo en intensidad.

Como vemos, la explicación de la caída de los cuerpos estuvo presente en la mente de todos aquellos que estaban construyendo la nueva ciencia. Pasemos entonces a ver como Newton pensó y llegó a su famosa ecuación.

C. Cómo pensó Newton la gravedad

Según el historiador de la ciencia I. Bernard Cohen, es difícil decir con exactitud cómo llegó Newton a la ley de atracción universal, pero se pueden reconstruir algunos aspectos básicos del descubrimiento (Cohen, 1970, p. 198). Muy conocida es la anécdota de la manzana, pero parece ser parte de una leyenda, como tantas otras, parecida al arrojé de los cuerpos desde lo alto de la torre de Pisa por Galileo. Lo que sí pensó Newton, es que la caída de la manzana obedece a la misma causa que el movimiento lunar respecto de la Tierra o sea a la atracción terrestre. La gran idea newtoniana es que él ve caer la manzana “hacia la Tierra” y ve caer a la Luna “alrededor de la Tierra”. La Luna tiene una trayectoria prácticamente circular alrededor de la Tierra, y si no existiese una fuerza que la vincula a la misma, esta se “escaparía” en dirección tangente a su trayectoria (principio de inercia). Luego de un Δt , sin dicha fuerza atractiva, la Luna estaría en LS, sin embargo, luego de dicho Δt , la Luna está en LC, tal como se indica en la Fig. 1

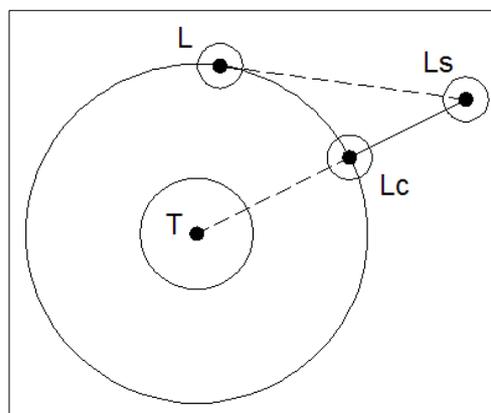


FIGURA 1. Trayectorias lunares con y sin atracción gravitatoria.

¿Cuál es, entonces, la magnitud de la fuerza atractiva que llevó a la Luna desde LS a LC? La fuerza atractiva no puede ser otra que la fuerza centrípeta de ese movimiento circular. Y piensa de esta manera: la aceleración de caída de la manzana en las inmediaciones de la Tierra es $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ¿A qué distancia está la manzana de la Tierra?... Y aquí está su otra genialidad: la manzana se encuentra alejada de la Tierra en exactamente un radio terrestre: o sea, el considera a la Tierra como puntual y actuando desde su centro. ¿Y a qué distancia se encuentra la Luna de la Tierra?: casi exactamente a 60 radios terrestres. Estas distancias ya eran conocidas en esa época y Newton lo menciona en su libro “El sistema del mundo”, donde expone aproximadamente estos razonamientos. Ahora bien, ¿con qué aceleración “cae” la Luna alrededor de la Tierra? Para calcularlo, hace uso de la ecuación de aceleración centrípeta obtenida por Huygens, que Newton menciona en su libro (Newton, 1992, p. 57) muy poco antes, $A_c = \omega^2 \cdot r$. Con ello, y conociendo el período lunar alrededor de la Tierra, de aproximadamente 28 días, obtiene que dicha aceleración es $1/3600 \text{ g}$. Es decir, que la aceleración disminuye en relación inversa al cuadrado de la distancia, por lo tanto, la fuerza que causa dicha aceleración (precisamente por su segunda ley de la dinámica), ¡también deberá hacerlo! Cabría esperar que la fuerza de gravitación fuera también proporcional a la masa de los cuerpos (no olvidemos que Newton en su tercera ley, afirma que la atracción es mutua entre cuerpos). En un borrador de El sistema del mundo (redactado en latín) dice: “*Y puesto que la acción de la fuerza centrípeta sobre el cuerpo atraído, es proporcional a la materia de este cuerpo, es razonable también que sea asimismo proporcional a la materia del cuerpo que atrae*” (Cohen, 1981, p. 118) y de allí puede expresar la famosa ley de atracción universal, como el cociente entre el producto de sus masas y el cuadrado de la distancia que las separa (Gamow, 1970, pp. 32 y 33); uno de los descubrimientos más maravillosos y fructíferos en la historia de la Física, válido para todos los cuerpos del universo :

$$F = GM \cdot m / r^2 \quad (1)$$

Pero Newton nunca escribió explícitamente esta ecuación. Para pasar de la proporcionalidad a la igualdad, es necesaria una constante. Dicha constante (G) se obtendrá a partir de una experiencia realizada por Henry Cavendish unos setenta años después y que más adelante veremos.

Si bien las primeras ideas de Newton respecto a la cuestión gravitatoria datan de 1665 (Gamow, 1970, p.25), recién en 1679 y con datos más exactos, comprueba su hipótesis. Además, con su ecuación y otros razonamientos, puede deducir las leyes de Kepler del movimiento planetario. En particular, dado que la fuerza atractiva, no es otra que la fuerza centrípeta del movimiento, igualando dichas ecuaciones obtiene la 3ra ley de Kepler. Es interesante resaltar que Kepler es anterior a Newton, y bien podemos preguntarnos como llegó el genial astrónomo alemán a su tercera ley. La historia de la ciencia nos dice que el espíritu místico de Kepler y su creencia en que el mundo está regido por relaciones de números enteros y pequeños (idea pitagórica) son los responsables de tal descubrimiento (Koestler, 1963, pp. 386 y ss.).

Finalmente, con su teoría gravitatoria, Newton pudo explicar las mareas y, con ello, dar una demostración de la rotación terrestre. Además de, como corolario, unificar la física celeste con la física terrestre.

D. La cuestión mística en Newton

Igualmente, la causa última y profunda de la atracción gravitatoria desveló a Newton hasta sus últimos días. En una carta a su amigo, el Dr. Bentley fechada en 1693 dice:

El que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia, de tal forma que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia (a través de un vacuum, sin mediación de ninguna otra cosa), esto es para mí un absurdo tan grande que creo que ningún hombre que esté capacitado para pensar en cuestiones filosóficas pueda nunca caer en ello. La gravedad debe ser causada por un agente que actúe constantemente en acuerdo con ciertas leyes, aunque he dejado a la consideración de mis lectores si este agente es material o inmaterial. (Newton, 2001, p. 34)

Aparece aquí el trasfondo teológico de Newton en cuanto a la existencia de un Dios que actúa en el espacio para que se cumplan las leyes y el universo no colapse. En la cuarta carta dice “*las rotaciones de los planetas no pudieron derivarse de la gravedad, sino que requirieron de un Brazo Divino que se las imprimiera*” (Newton, 2001, p. 39). En la misma carta y más adelante, expresa “*Y por lo tanto de aquí se infiere que hay una Deidad...ciertamente, lo que no pueda darse en adelante sin un poder sobrenatural, no pudo tampoco tener lugar anteriormente sin él*” (Newton, 2001, p. 40). Aquí admite Sir Isaac la existencia de un Dios que debe estar presente y actuando constantemente. Esta idea es el núcleo central de la controversia epistolar con Leibniz (Newton lo hace a través de su amanuense, el Dr. Clarke). Podemos resumir así tal controversia: Leibniz cree, al contrario que el sabio inglés, que Dios, al ser perfecto, debe haber creado el mejor de los universos posibles y de una sola vez: nunca podría estar actuando permanentemente como piensa Newton. La controversia epistolar terminará con la muerte de Leibniz en 1717.

E. La comprobación experimental

Setenta años después (en 1789), un gran físico experimental inglés, Henry Cavendish realizará una cuidadosa experiencia, aproximadamente similar a la mostrada en la Fig. 2, (hacemos uso de este dispositivo por considerarlo más didáctico) en donde demostrará, no solo la atracción gravitatoria entre cuerpos pequeños, sino que, a partir de dicha experiencia, se puede obtener el valor de la constante gravitatoria G . En realidad, Cavendish buscó, y pudo obtener la densidad media de la Tierra con esta experiencia. Al acercar las esferas, se produce la atracción entre las mismas (muy pequeña, por cierto) y una apenas perceptible rotación del eje, que es observable por la desviación del haz luminoso sobre una pantalla, como puede apreciarse en la figura. En el aparato usado por Cavendish, este midió el ángulo de desviación usando un pequeño telescopio. Una experiencia algo similar, pero para el caso de cargas eléctricas, la realizará el físico francés Charles Coulomb, a fines del siglo XVIII, y obtendrá una ecuación algebraicamente similar, pero para el caso de fuerzas entre cargas eléctricas.

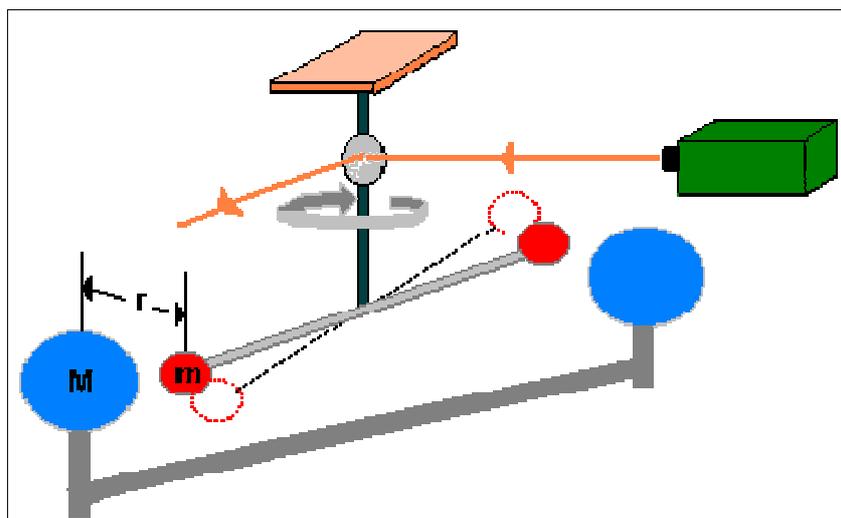


FIGURA 2. Experiencia para demostrar la atracción gravitatoria.

Conociendo las masas, la distancia de separación entre las mismas y el coeficiente de torsión del hilo, se puede calcular la fuerza atractiva y de allí determinar G .

F. El problema de explicar la atracción por fuerzas que actúan a la distancia, sin mediar nada material

Este ha sido el principal problema del mecanicismo a partir de Newton y parece ser resuelto hacia mediados del siglo XIX, con la introducción de la teoría de campos de fuerza por Faraday, que tan fructífera es para explicar los fenómenos eléctricos, magnéticos y gravitatorios. Todo cuerpo, no solo posee masa, también genera a su alrededor un “campo de fuerzas” causante de la atracción gravitatoria entre los cuerpos materiales. El concepto de campo, altera profundamente el concepto de realidad física: allí donde no hay materia alguna, decimos que hay vacío. Pero vacío de materia, ya que, al existir cuerpos, hay campo de fuerzas, y podemos observar sus efectos. Este campo es tan real como la materia misma; la materia no solo es masa: es masa y campo gravitatorio asociado, ambos como una única entidad. Según Einstein, este cambio producido en el concepto de realidad es el más profundo y fructífero que experimentó la física de Newton (Le Shan y Margenau, 2002, p. 24).

A partir del descubrimiento del planeta Neptuno, (debido a anomalías en la órbita de Urano) hecho que fue resuelto por el astrónomo francés Leverrier (casi en simultáneo con el inglés Adam), aplicando los conceptos y fórmulas de atracción gravitatorios newtonianos, tenemos, hacia mediados del siglo XIX, un brillante éxito de la teoría de atracción gravitatoria de Newton. Pero existe un “pequeño” detalle que esta teoría no puede resolver: una anomalía en la órbita de Mercurio, cuando este se encuentra en su punto más cercano al Sol (perihelio). Se intentó resolver el problema de la misma forma que con Urano: se supuso la existencia de un planeta entre Mercurio y el Sol, causante de dicha anomalía orbital. Incluso se anticipó su nombre: Vulcano. Podríamos decir irónicamente que todavía lo están buscando. Pero no; el problema es otro y de fondo: la hipótesis gravitatoria de Newton no podrá explicar esta anomalía en la órbita de Mercurio.

G. Cómo pensó Einstein la gravedad

Recién en 1916, con la teoría de la Relatividad General de Einstein, que es una nueva teoría sobre la gravedad, pudo ser resuelto el problema de la órbita mercurial. Pero no en base a modificar algún pequeño detalle en la teoría newtoniana, sino a costa de destronarla. Efectivamente, en la teoría einsteniana, la materia “curva” el espacio. Materia y espacio pasan a ser un único e indivisible ente físico. El espacio es “curvo” y su geometría no es euclídea. La geometría no euclidiana de Riemann es la que se ajusta y describe este espacio, en el cual no hay fuerzas de atracción, tan solo movimientos de cuerpos en forma inercial. Como dicho espacio es elíptico, por ello, los planetas recorren órbitas elípticas. La comprobación experimental de la curvatura espacial, se produjo en 1919, cuando durante un eclipse solar, se pudo ver una estrella, que no podría haberse observado, si el espacio fuese plano, dado que el Sol lo impediría. Cuando Mercurio pasa por el perihelio, la curvatura espacial que produce el Sol, es la responsable de la anomalía antes citada. Este también ha sido uno de los éxitos experimentales de la teoría de la Relatividad General.

H. ¿Continúa la historia?

La historia de la gravedad no termina con Einstein: según la teoría de la gravedad cuántica, (de alta complejidad matemática, al igual que la anteriormente citada teoría de la Relatividad general) nos dice que el espacio, al igual que la materia y la energía, está cuantificado, es decir, el espacio no es continuo, sino discreto, y que las distorsiones de dicho espacio, es el causante de las “ondas gravitacionales” que, según la teoría, deben propagarse a la velocidad de la luz. Efectivamente, dichas ondas se detectaron el 14 de setiembre de 2015 y los físicos involucrados en el proyecto, dieron a conocer el descubrimiento en febrero de 2016. Se detectaron a través de observatorios interferométricos, probablemente debido a la colisión entre dos objetos muy masivos, por ejemplo, dos agujeros negros. Como vemos, aún hoy, la gravedad es una cuestión que sigue desvelando a los científicos y aún faltaría detectar la partícula asociada a la onda gravitatoria: el gravitón. La actual Teoría de cuerdas, que pretende ser una “teoría del todo”, trata de unificar las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza: la electromagnética, las fuerzas débiles y fuertes (que operan dentro del núcleo atómico) y la fuerza gravitatoria. Pero hoy en día no tenemos confirmación ni refutación, de la teoría de cuerdas.

III. CONCLUSIONES

En 1895 el físico experimental estadounidense, Albert Michelson, dijo que a la física solo falta ajustar el “sexto decimal”, o sea algo así como que todo el estudio de los fenómenos físicos de la naturaleza, ya estaba estudiado y comprendido. Y solo faltaban “detalles” por ajustar. Pero a los pocos años (en 1900, el nacimiento de la teoría cuántica de Planck y entre 1905 y 1916 las teorías relativistas de Einstein) dieron un golpe mortal, no solo a aquellas palabras de Michelson, sino también al universo mecanicista newtoniano. ¿Estaremos a las puertas de una nueva revolución científica en materia gravitatoria, con la teoría de cuerdas y la hipótesis de existencia de una materia oscura, como principal responsable de la expansión del universo? Solo el tiempo y las investigaciones darán quizás la respuesta.

Lo cierto es que en todo el recorrido temporal que hemos hecho acerca de la idea de Gravedad, creo que podemos ver la riqueza que encierra la historia de las ideas. Enseñar como pensaron aquellos que construyeron los pilares básicos del edificio de la ciencia, no solo contribuye a entender mejor los fenómenos, sino que también es un interesante aporte filosófico y cultural. Y tal como está explícito en el título de este trabajo, creemos que este es un buen ejemplo del uso de la historia como herramienta didáctica. Por lo tanto, uno de los objetivos buscados al presentar este trabajo, es el de incentivar a los docentes, en la búsqueda e investigación histórica de temas, en los cuales sea posible hacer uso de la historia para enriquecer la enseñanza de la física. Existen muchos ejemplos para usar la historia como herramienta didáctica. Uno de los más importantes es la historia del surgimiento del principio de inercia para demostrar el movimiento terrestre, que a la postre sería el comienzo de la nueva física. Si el docente solo explica dicho principio sin decir lo antiintuitivo que es el mismo, ni explicitar como lo pensó Galileo para demostrar que la rotación de la Tierra puede ser posible, no solo se está perdiendo la importancia de un episodio clave en la historia de la humanidad, sino que es probable que el alumno olvide rápidamente dicho principio. Lo mismo ocurriría con la enseñanza de muchos temas, como el gravitatorio del presente trabajo. Y tal como acabamos de decir, cuando el docente explica un contenido, aportando la forma en como lo pensó o pensaron sus creadores, dicho contenido no solo queda más impreso en la mente del alumno, sino que también le va indicando el camino de la lógica del pensamiento científico. Esta es la relevancia didáctica del aporte histórico en la enseñanza de la física.

REFERENCIAS

- Boido, G. (1996). *Noticias del planeta Tierra*. Buenos Aires: AZ.
- Cohen, I. B. (1970). *El nacimiento de una nueva física*. Buenos Aires: Eudeba.
- Cohen, I. B. (1981). El descubrimiento newtoniano de la gravitación. *Investigación y Ciencia*, (56).
- D'Elia, A. (1985). *Christian Huyguens. Una biografía Intellettuale*. Milano: Franco Angeli.
- Galileo Galilei. (1996). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Barcelona: Planeta De Agostini.
- Gamow, G. (1970). *Gravedad*. Buenos Aires: Eudeba.
- Hooke, R. (1969). *The Posthumous Works*. New York: Johnson Reprint Corporation.
- Koestler, A. (1963). *Los sonámbulos*. Buenos Aires: Eudeba.
- Le Shan, L. y Margenau, H. (2002). *El espacio de Einstein y el cielo de Van Gogh*. Barcelona: Gedisa.
- Newton, I. (1992). *El sistema del mundo*. Madrid: Alianza.
- Newton, I. (2001). *Cuatro cartas al Dr. Bentley*. Madrid: Ed. Complutense.