



Física y Razón

JORGE LUIS CONTRERAS VIDAL
JUSTO JESÚS CARRERAS GÓMEZ
DIANNY ALEXANDRA VÉLEZ VERA
MARITZA KATHERINE BARRE CEVALLOS
LEONELA ANGÉLICA ORTIZ SANTOS
XENIA PEDRAZA GONZÁLEZ

Un viaje a través de
la Historia, la Lógica
formal y la Teoría
del conocimiento

Física y Razón

Un viaje a través de la Historia, la Lógica Formal y la Teoría del Conocimiento.

AUTORES:

Dr.C. Jorge Luis Contreras Vidal

luiscontreras9963@gmail.com.

<https://orcid.org/0000-0003-1060-8290>

MSc. Justo Jesús Carreras Gómez

justojesus carrerasgomez@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0451-6309>

Dianny Alexandra Vélez Vera

diannyvelezvera@hotmail.com.

<https://orcid.org/0009-0003-6794-8242>

Maritza Katherine Barre Cevallos

maritzak_bc@outlook.com

<https://orcid.org/0009-0002-2027-3017>

Leonela Angélica Ortiz Santos

lortizs@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-7557-1893>

Xenia Pedraza González

x.pedraza@istcge.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8036-5736>

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS:

Cualquier forma de reproducción, distribución, comercialización o transformación de esta obra solo puede llevarse a cabo con la autorización de los titulares de los derechos, excepto según lo permitido por la ley. El contenido de este texto, puede ser utilizado con fines académicos y de investigación, siempre y cuando se mencione la cita de los autores de esta obra. La infracción de los derechos mencionados puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Por favor, póngase en contacto con Ediciones GESICAP (<https://edicionesgesicap.com/>) si necesita fotocopiar o escanear alguna parte de esta obra.

- © Contreras Vidal, Jorge Luis.
- © Carreras Gómez, Justo Jesús.
- © Vélez Vera, Dianny Alexandra.
- © Barre Cevallos, Maritza Katherine.
- © Ortiz Santos, Leonela Angélica.
- © Pedraza González, Xenia.
- © Editorial: Ediciones GESICAP

Derechos de autor © marzo de 2025.

Texto arbitrado bajo la modalidad doble par ciego.

El Carmen, Manabí, Ecuador

<https://edicionesgesicap.com>

ISBN: 978-9942-626-26-4

Depósito Legal: 1ra Edición: Ediciones Gesticap, Calle 24 de julio y Ave. 3 de julio, El Carmen, Manabí, Ecuador.

CÓMO CITAR ESTE LIBRO:

Contreras Vidal, J. L; Carreras Gómez, J. J; Vélez Vera, D. A; Barre Cevallos, M. K; Ortiz Santos, L. A y Pedraza González, X. (2025). Física y razón un viaje a través de la Historia, la Lógica formal y la Teoría del conocimiento. Ediciones GESICAP. 99 pp.

EQUIPO EDITORIAL:

Edición y Maquetación: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández

Revisión y Corrección: Diego de Jesús Alamino Ortega, Yoandra Cárdenas Rodríguez.

Diseño de Portada: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández.

Toda la información relacionada al contenido del texto es responsabilidad de los autores.

“Si no sabemos cómo aprendemos,
¿cómo podríamos
saber cómo enseñar?”

Leo Rafael Reif
Presidente del MIT (2017)

ÍNDICE GENERAL

- Prefacio / 1
- Un comentario inicial / 2
- Una introducción necesaria / 3
- Principales actores / 5
- El valor del historicismo en el estudio de la física / 8
- La lógica formal y su papel en el estudio de la física / 18
- Principales componentes de la lógica formal / 20
- La lógica formal en el aprendizaje de las leyes de la física / 21
- Cuantificadores en la lógica formal / 22
- Un poco más sobre los cuantificadores / 23
- Teoría del conocimiento / 24
- Isaac Newton: la grandeza de un genio / 27
- Isaac Newton y su concepción general de mundo físico / 34
- Primera ley de Newton. Inercia. Desarrollo histórico / 35
- Ley de la inercia y lógica formal sin cuantificadores / 37
- Ley de la inercia y lógica formal con cuantificadores / 39
- Ley de la inercia desde la teoría del conocimiento / 41
- Ley de la fuerza. Desarrollo histórico / 42
- Ley de la fuerza. Lógica formal sin cuantificadores / 43
- Ley de la fuerza. Lógica formal con cuantificadores / 45
- Ley de la fuerza desde la teoría del conocimiento / 47
- Tercera ley de Newton. Acción-reacción. Su historia / 48
- La tercera ley de Newton desde la lógica formal sin cuantificadores / 49
- Tercera ley y la lógica formal con cuantificadores 51
- Tercera ley de Newton y la teoría del conocimiento / 53
- Ley de gravitación universal. Desarrollo histórico / 55
- La ley de gravitación universal y lógica formal sin cuantificadores / 61
- La ley de gravitación y la lógica formal con cuantificadores / 62
- Ley de gravitación universal y la teoría del conocimiento / 64
- Ley de Hooke. El desarrollo histórico /65
- Ley de Hooke desde la lógica formal sin cuantificadores / 66
- Ley de Hooke y la lógica formal con cuantificadores / 67
- La ley de Hooke desde la teoría del conocimiento / 68
- Leyes de Kepler. El desarrollo histórico / 70
- Leyes de Kepler desde la lógica formal sin cuantificadores / 77
- Leyes de Kepler desde la lógica formal con cuantificadores / 78
- Leyes de Kepler desde la teoría del conocimiento / 79
- Ley de conservación de la cantidad de movimiento. Su historia / 81
- Conservación de la cantidad de movimiento. Lógica formal sin cuantificadores / 83
- Conservación de la cantidad de movimiento. Lógica formal con cuantificadores / 84
- Conservación de la cantidad de movimiento y la teoría del conocimiento / 86
- Ley de conservación de la energía mecánica. Su historia / 88
- Conservación de la energía mecánica y la lógica formal sin cuantificadores / 90
- Conservación de la energía mecánica y la lógica formal con cuantificadores / 91
- Conservación de la energía mecánica y la teoría del conocimiento / 92
- Epílogo / 95
- Referencias bibliográficas / 97

AUTORES

Jorge Luis Contreras Vidal.

Universidad Central Marta Abreu de las Villas.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1060-8290>

e-mail. luiscontreras9963@gmail.com.

Licenciado en Educación, especialidad Física y Astronomía. Máster en Ciencias de la Educación Superior. Doctor en Ciencias Pedagógicas. Presidente de la Comisión Nacional de la Carrera de Física y de la Cátedra Honorífica de las Ciencias “Manuel Francisco Gran Guilledo”. Miembro de los claustros doctorales de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, en Cuba y de la Universidad Iberoamericana Internacional en México. He publicado artículos y libros en revistas y editoriales de alto impacto y formado másteres y doctores.

Justo Jesús Carreras Gómez.

IPU José Martí de Camajuaní

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0451-6309>

e-mail. justojesus carreras gomez@gmail.com.

Lic. Educación especialidad Física y Astronomía. Máster en Ciencias de la Educación. Ha impartido clases de Física en el nivel secundario, preuniversitarios y universitario. Ha sido tutor de tesis de grado y maestrías. Ha impartido clases de Sociología de la Educación y la cultura en la sede universitaria del municipio Camajuaní, Villa Clara. Ocupó el cargo de metodólogo de Física en el municipio Camajuaní. Actualmente se desempeña como jefe del departamento de ciencias exactas del preuniversitario José Martí de Camajuaní y es doctorando en Ciencias de la Educación.

Dianny Alexandra Vélez Vera.

Unidad Educativa El Carmen.

e-mail. diannyvelezvera@hotmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-6794-8242>

Licenciada en ciencias de la educación, Mención Físico Matemáticas y Magister en pedagogía de las ciencias experimentales. Mención en Matemática y Física. Docente de física y matemáticas de la Unidad Educativa El Carmen. La autora cuenta con artículo publicado en revista indexada.

Maritza Katherine Barre Cevallos.

Unidad Educativa El Carmen.

e-mail. maritzak_bc@outlook.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2027-3017>.

Ingeniera en sistemas informáticos y Magister en educación con mención en psicopedagogía. Docente de matemáticas en el nivel de bachillerato de la Unidad Educativa “El Carmen”.

Leonela Angélica Ortiz Santos.

Universidad Estatal de Milagro.

e-mail.: lortiz@unemi.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7557-1893>.

Leonela Angélica Ortiz Santos es Ingeniera Química, estudiante de Maestría en Bachillerato mención en Matemáticas en la Universidad Estatal de Milagro y docente de Física y Matemáticas en la Unidad Educativa “Jesucristo Rey”. Su experiencia en la enseñanza de ciencias exactas le ha permitido implementar metodologías activas para mejorar el aprendizaje de sus estudiantes. Además, forma parte de proyectos de robótica educativa, fomentando el desarrollo del pensamiento lógico y la innovación tecnológica en el aula. Su interés en la educación STEM la ha llevado a capacitarse en el uso de herramientas digitales para la enseñanza y a colaborar en iniciativas que integran la tecnología en el currículo escolar de la materia de física.

Xenia Pedraza González.

Instituto Superior Tecnológico Consulting Group Ecuador, Sede Santo Domingo.

e-mail. x.pedraza@istcge.edu.ec.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8036-5736>.

Licenciada en Física electrónica y Master en Educación Superior con mención en Docencia Universitaria. Profesora investigadora del Ecuador certificada por la Senescyt. Autora de varios artículos publicados en revistas indexadas y ha publicado libros compartiendo autoría con investigadores de Argentina, México, Cuba y Ecuador. Docente del Instituto Superior Tecnológico Consulting Group Ecuador (ISTCGE) y directora académica del Centro de Gestión internacional de capacitación y posgrado (GESICAP).

PREFACIO

Durante nuestra vida profesional, como profesores de Física en todos los niveles de enseñanza, hemos tropezado con estudiantes que luego de recibir una clase sobre algunas de las leyes de la física, se nos acercan para que les expliquemos la vía que utilizamos durante nuestra exposición en clase. Cuando lo hacemos, nos dicen orgullosos que “ahora sí entendimos”. Sin embargo, usamos la misma forma que la tratada en la clase, solo que les mostramos con énfasis la evolución histórica de la ley, cuáles eran los conceptos involucrados en la ley en cuestión, sobre esta base formulamos enunciados o juicios de realidad, y finalmente pudimos hacer razonamientos lógicos.

Esa sorpresa es el primer síntoma de que los estudiantes actúan por instinto, abusando de su memoria y tratando de limitar todo el conocimiento a “buscar en su cerebro” algo que se parezca a lo nuevo, es decir, se basan en puras representaciones. Es cierto que las representaciones son el eslabón más alto del conocimiento concreto-sensible, pero eso no es suficiente para llegar a las leyes de la física. Por lo regular ellos aprenden la forma matemática de estas, sin embargo, no asimilan su esencia, y mucho menos son capaces de explicarla a sus futuros alumnos. Nos referimos a los estudiantes de Física en formación de nuestras universidades.

Creemos que la primera misión de los profesores, es enseñar a nuestros estudiantes cómo funciona el cerebro, al menos en las condiciones actuales donde el desinterés prima y el miedo a la Física es un fantasma innegable. Se trata de hacer sencillo (en lo posible) lo que personas torpes han tratado y tratan de limitar a, como dijera Max Weber, “aristocracia espiritual”.

Este trabajo, como cualquier otro que nos impongamos, está dirigido a tratar de aportar un grano de arena a las vías para mejorar la enseñanza de la Física en países de Latinoamérica, en lo esencial, pero también en otros lugares del mundo. Para nada pretendemos adjudicarnos el mérito de ser ni los primeros ni los únicos que se basan en el historicismo, la teoría del conocimiento y la lógica aristotélica a la hora de analizar estos temas, por tanto sería muy bueno compartir estas ideas con quienes se interesen por los mismos.

Los Autores.

UN COMENTARIO INICIAL

A la hora de abordar cada una de las leyes analizadas, hemos intentado seguir el desarrollo histórico, la teoría del conocimiento y la lógica formal enunciada por Aristóteles en su forma más elemental, sin caer en formulaciones profundas que pudieran hacer más complicado el análisis y no mostrar las esencias de las mismas.

Nuestro análisis está basado, en lo fundamental, en enunciar la ley en su evolución histórica, analizar los conceptos, juicios y razonamientos acerca de la misma, desde la teoría del conocimiento y plantear una serie de proposiciones o premisas, unida a los cuantificadores, desde la lógica formal, que conlleven a una conclusión. En casi todos los casos el objetivo es expresar la ley de manera sintética.

Por último, en todos los casos se finaliza con un breve comentario o una conclusión lógica que resuma el significado de la ley.

Los Autores.

UNA INTRODUCCIÓN NECESARIA

La historia de la humanidad, desde sus comienzos hasta el momento que a usted le toque vivir, lleva en sí una riqueza de acontecimientos que, aunque finitos, son infinitos para nuestra mente. No hay genio, talento o erudito alguno que pueda conocer de todo y muchos menos dominarlo.

La historia referida contiene sucesos de paz y de guerra, de amores y odios, de vida y de muerte, pero sobre todo de ciencia y anticiencia o seudociencia.

La ciencia es hecha por seres humanos que viven en familia y pasan de todo, al igual que el resto de los mortales. La ciencia tiene su historia particular dentro de toda la historia universal y conocerla, más que una opción, es una obligación por todo aquel que la hace o la estudia.

La física como ciencia y disciplina escolar tiene su propia historia y epistemología. Es quizás, de todas las ciencias, la que más ha influenciado de manera significativa en el estudio, comprensión y descripción de los fenómenos de la naturaleza, a través de conceptualizaciones y enunciación de principios, leyes, teorías y modelos, las que luego se han llevado al plano de explicar hechos tecnológicos como en el caso de la máquina de vapor o de desarrollar la tecnología, en conjunto con otras ciencias, a planos cada vez más sofisticados e increíbles, que van desde la construcción de naves espaciales hasta la nanotecnología.

También la física se integra de forma activa a todos los procesos de la realidad, los cuales abarcan los procesos biológicos, químicos, sociales, así como aquellos involucrados en la vida cotidiana, entre otros.

La física es una ciencia teórica y experimental, con un fuerte basamento matemático, la cual busca que cada hecho pueda ser verificable mediante los experimentos y que mediante la teoría

se pueda realizar predicciones futuras. Galileo Galilei es un ejemplo de paradigma que supo en sí mismo combinar el pensamiento teórico, matemático y experimental.

En tal sentido, la física se puede considerar desde sus inicios hasta hoy en día, como una ciencia esencial porque su campo teórico y experimental penetra en determinadas esferas del conocimiento humano.

Entonces para comprender la física, sin duda alguna, es esencial el papel del historicismo, según determinados autores, pero también la aplicación de la lógica formal a los conocimientos que existen dentro de esta ciencia, así como conocer el recorrido del concepto, los juicios y razonamientos, avalados y estudiados por la teoría del conocimiento.

PRINCIPALES ACTORES

Se aclara por los autores, que todos los datos biográficos de los científicos involucrados en este libro fueron tomados de ECURED (www.ecured.cu) y las fotos de los científicos (libres de copyright) de internet.



ARISTÓTELES DE ESTAGIRA

(Nace en Estagira, 384 a. n. e. Muere en isla de Eubea, 322 a.n.e.). Filósofo griego de conocimientos enciclopédicos, fundador de la lógica como ciencia y de varias ramas concretas del saber. Escribió cerca de 200 tratados sobre una enorme variedad de temas. Fue el padre de la lógica formal, economía, astronomía, precursor de la anatomía y la Biología y un creador de la Taxonomía (padre de la zoología y la botánica). Está considerado (junto a Platón) como el determinante de gran parte del corpus de creencias del pensamiento occidental del hombre corriente (aquellos que hoy denominamos “sentido común” del hombre occidental).

GALILEO GALILEI

(Nace en Pisa el 15 de febrero de 1564. Muere 8 de enero de 1642 en Florencia). Físico y astrónomo italiano, paladín de la concepción científica del mundo. Criticaba la admiración ciega de la autoridad de Aristóteles, la escolástica dogmática. Los principales resultados obtenidos por Galileo en mecánica fueron el establecimiento de la ley de la inercia y del principio de la relatividad, según el cual el movimiento uniforme y rectilíneo de un sistema de cuerpos no se refleja en los procesos que en dicho sistema se dan. Fueron de importancia capital para la lucha contra los dogmas religiosos los descubrimientos astronómicos de Galileo, que sirvieron como argumentos decisivos en favor del sistema heliocéntrico de Copérnico. Presionado por la Inquisición, Galileo se vio obligado a retractarse de la “herejía copernicana”. Su principal obra es el *Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo: el tolemeico y el copernicano* (1632).



JOHANNES KEPLER

(Nace en Wurttemberg, 1571. Muere en Ratisbona, 1630). Astrónomo y filósofo alemán, famoso por formular y verificar las tres leyes del movimiento planetario conocidas como leyes de Kepler. Fue colaborador de Tycho Brahe, a quien sustituyó como matemático imperial de Rodolfo II. En 1935 la UAI decidió en honor llamarle «Kepler» a un astroblema lunar.



CHRISTIAN HUYGENS

(Nace en la Haya, 1629. Muere en la Haya, 1695). Físico y astrónomo holandés cuyos grandes aportes los realizó en el campo de la dinámica y la óptica. Inventó el reloj de péndulo y realizó la primera exposición de la teoría ondulatoria de la luz. Fue descubridor de los anillos de Saturno y también de su satélite mayor nombrado Titán.



ROBERT HOOKE

(Nace en Freshwater, Inglaterra, 1636. Muere en Londres, Inglaterra, 1703). Fue uno de los científicos experimentales más importantes de la historia de la ciencia, polemista incansable y genio creativo de primer orden. Sus intereses abarcaron campos tan dispares como biología, medicina, cronometría, física planetaria, microscopía, náutica y arquitectura



ISAAC NEWTON

(Nace en Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra, (1642. Muere en Londres, Inglaterra, 1727). Fue un físico, filósofo, inventor, alquimista y matemático inglés, autor de los Philosophiæ naturalis principia mathematica, más conocidos como los Principia, donde describió la ley de gravitación universal y estableció las bases de la Mecánica Clásica mediante las leyes que llevan su nombre. Entre sus otros descubrimientos científicos destacan los trabajos sobre la naturaleza de la luz y la óptica (que se presentan principalmente en su obra Óptica y el desarrollo del cálculo matemático. Newton fue el primero en demostrar que las leyes naturales que gobiernan el movimiento en la Tierra y las que gobiernan el movimiento de los cuerpos celestes son las mismas. Es, a menudo, calificado como el científico más grande de todos los tiempos, y su obra como la culminación de la Revolución científica.



GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ

(Nace en Leipzig, 1646. Muere en Hannover, 1716). Fue un polímata, filósofo, matemático, lógico, teólogo, jurista, bibliotecario y político alemán. Fue el primer presidente de la Academia de Ciencias de Berlín; desde 1676 hasta su fallecimiento, ocupó el cargo de bibliotecario del duque de Hannover. Se le considera como fundador de la lógica matemática.



JULIUS VON MAYER

(Nace en Heilbronn, 1814. Muere en Heilbronn, 1878). Fue un físico y médico alemán. Mayer fue —a la vez que Joule, pero con independencia de él— el primero en comprobar la transformación de trabajo mecánico en calor, y viceversa, obteniendo incluso, en 1842 el valor de la caloría, aunque la cifró en 365 kgf.m/kcal. En 1845 presenta la “relación de Mayer”, proceso por el cual había obtenido sus resultados, consistente en la medida de la diferencia de las capacidades caloríficas molares de los gases. En 1846, presenta otra memoria dedicada a los fenómenos eléctricos y biológicos, *El movimiento orgánico*.



JAMES PRESCOTT JOULE

(Nace en Salford, Reino Unido, en 1818. Muere en Salford, 1889). Se le debe la teoría mecánica del calor, y en cuyo honor la unidad de la energía en el sistema internacional recibe el nombre de Joule. En 1840 Joule publicó Producción de calor por la electricidad voltaica, en la que estableció la ley que lleva su nombre y que afirma que el calor originado en un conductor por el paso de la corriente eléctrica es proporcional al producto de la resistencia del conductor por el cuadrado de la intensidad de la corriente. En 1848 ya había publicado un artículo referente a la teoría cinética de los gases.



HERMANN VON HELMHOLTZ

(Nace en la ciudad de Potsdam, estado de Brandeburgo, Alemania, en 1821. Muere en la ciudad de Charlottenburgo, Alemania, 1894). Naturalista alemán, profesor en Königsberg, Bonn, Heidelberg y Berlín. Sus métodos fisicoquímicos para la investigación del organismo vivo, asestaron un golpe al vitalismo y favorecieron la expansión de las concepciones materialistas en biología. En fisiología realizó varios descubrimientos importantes. De sus muchas aportaciones a la ciencia sobresalen la invención del oftalmoscopio, instrumento diseñado para inspeccionar el interior del ojo, y del oftalmómetro, para medir su curvatura. Estudió la actividad muscular y fue el primero en formular matemáticamente el principio de conservación de la energía.

EL VALOR DEL HISTORICISMO EN EL ESTUDIO DE LA FÍSICA

En la antigüedad la física era conocida mayormente como filosofía natural y así llegó hasta la época de Newton. Recordemos que su libro cumbre fue titulado como *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Hay que resaltar que Aristóteles la llamó siempre *Physis* y así lo hizo saber en un libro que abarca estudios y análisis acerca del movimiento y el reposo, la relación entre la física y la matemática y la física y la astronomía. La obra conocida desde Andrónico de Rodas como *Physiké akrósis*, «Curso de física», es el texto de las lecciones que diera Aristóteles sobre la physis, el gran tema de fondo del pensamiento griego, y como tales fueron conservadas por sus discípulos inmediatos. En lo adelante nos referiremos a este libro con el nombre de *Física*, pero siempre aclarando que no es la Física que hoy conocemos porque en esa época lo que se conocía era la filosofía natural y los que la estudiaban se conocían como filósofos.

El libro de Aristóteles mencionado también aborda cuestiones como la parte y el todo, la suerte y la casualidad como causas accidentales e indeterminadas, y el modo en que la necesidad está presente en la naturaleza.

Con relación a la temática anterior Aristóteles, escribe:

Después de haber determinado los diversos sentidos en que se dice la naturaleza, tenemos que examinar ahora en qué se diferencia el matemático del físico, pues los cuerpos físicos tienen también superficies, volúmenes, longitudes y puntos, de los cuales se ocupa el matemático. Además, ¿es la astronomía distinta de la física o es una parte suya? Porque parece absurdo que se suponga que es tarea propia del físico conocer la esencia del sol y de la luna, pero no sus atributos esenciales, en especial porque quienes se ocupan de la naturaleza manifiestan también interés por la figura de la luna y el sol, e investigan si la tierra y el mundo son esféricos o no. (Aristóteles, 1995, p. 49)

En consonancia con lo anterior, en el libro *Física* se encuentran principios por los cuales pueden guiarse todas las ciencias para llegar a comprender el mundo natural y social en el que se vive. Al respecto, Aristóteles dice que:

... es evidente que hay causas y que son tantas como hemos indicado, pues tantos son los modos en que podemos entender el «por qué» de las cosas (...) y puesto que las causas son cuatro, es tarea propia del físico conocerlas todas, pues para explicar físicamente el «por qué» tendrá que remitirse a todas ellas, esto es, a la materia, a la forma, a lo que hace mover y al fin (Aristóteles, 1995, p. 67).

La obra *Física*, en conclusión, es un compendio de ciencia y filosofía al mismo tiempo. Empédocles, Anaxágoras, Parménides y Demócrito eran considerados físicos por Aristóteles.

Los físicos han intentado y logrado, en gran medida, describir los fenómenos naturales. Para ello han penetrado en el micromundo, con el estudio de las partículas fundamentales microscópicas, hasta el macromundo, con el estudio del sistema solar y las galaxias, de manera general.

Muchos sabios y científicos han participado en la construcción de una física como ciencia de la naturaleza, dentro de los cuales pueden nombrarse a Demócrito, Tito Lucrecio Caro, Eratóstenes, Aristarco, Epicuro, Arquímedes, Tolomeo, Aristóteles, Copérnico, Galileo Galilei, Kepler, Tycho Brahe, Isaac Newton, Michael Faraday, Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell, Thomas Young, Hendrik Antoon Lorentz, Albert Einstein, Niels Bohr, Max Planck, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger. Paul Dirac, Richard Feynman y Stephen Hawking, por solo hacer mención de algunos.

En tal sentido, existen libros que se dedican a mostrar a la física como ciencia y su impacto en la tecnología, dentro de los cuales se encuentran *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* y *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* y, escritos por Galileo Galilei e Isaac Newton, respectivamente.

Numerosos libros de física se pueden encontrar en forma de textos escolares. Estos últimos tienen como objetivo esencial enseñar la manera de explicar los fenómenos y hechos que ocurren en la naturaleza.

Entre las investigaciones que abordan a la física como ciencia y aquellos que la estudian como física escolar existen diferencias notables, algunas son lógicas, pero otras no. Por ejemplo, cuando se analizan los textos escolares de Física, generalmente se percibe que el desarrollo histórico de esta ciencia se omite y que de carácter histórico solo aparecen informaciones sobre los científicos involucrados relativos al país donde nacieron, fecha de nacimiento y muerte, escritas entre paréntesis después del nombre.

Los libros de textos escolares de Física que más logran el historicismo como principio, son aquellos que profundizan en los datos biográficos y en la numeración de sus descubrimientos científicos, amén de una u otra anécdota descrita para intentar motivar al estudiante, pero nada más.

La omisión de los nombres de los científicos, de sus descubrimientos y la manera en que los realizaron, así como del contexto cultural y social en el cual vivieron y trabajaron, es una práctica común a la hora de escribir dichos textos. En correspondencia con lo antes expuesto, se señala que entender la física no es tarea fácil, pero comprenderla es algo más complejo.

Entender que la velocidad de un movimiento rectilíneo y uniforme depende de las magnitudes desplazamiento y tiempo es algo, en apariencia, trivial, pero comprender por

qué son esas dos magnitudes y no otras, es cuestión que conlleva a un pensamiento científico de relativa profundidad y dedicación.

Los textos escolares de Física normalmente carecen de este tipo de análisis y plantean un concepto, principio, ley o teoría, de forma acabada, con lo que evaden el desarrollo histórico y lógico que conllevó a la referida forma. Ello atenta contra la formación correcta de los conocimientos, y por lo tanto, de la apropiación adecuada de estos.

La dificultad de comprender el concepto de velocidad y su relación con las magnitudes básicas longitud y tiempo, viene dada porque la génesis histórica de dichos conceptos tomó siglos, alrededor de 2.000 años, al pasar por los trabajos de Aristóteles y Filópono, hasta llegar a Galilei y Newton. Ello puede explicar la dificultad en la apropiación por parte de los estudiantes de estas ideas que constituyen el fundamento de la mecánica a partir del siglo XVII, etapa en la cual Galilei elabora las bases conceptuales de la mecánica clásica, desarrollada y ampliada luego por Newton, quien introduce el cálculo diferencial e integral para completar el cuadro mecánico del mundo hasta ese momento.

De manera muy parecida ha sucedido con casi todos los conocimientos de la física que surgieron en la antigüedad, como son el concepto de átomo y la ley de la inercia. En consonancia con lo anterior, una forma de llegar a comprenderlos es a través del estudio de los trabajos originales de los científicos y de la aplicación de la lógica formal.

Se aprende profundamente de mecánica y astronomía al estudiar los trabajos de Galilei, sobre todo aquellos escritos en forma de diálogos, en los cuales utiliza tres personajes: Salviati, Sagredo y Simplicio, donde se muestra el desarrollo mental y de análisis que él aplicaba para desentrañar los errores de sus predecesores, en especial de Aristóteles, e implantar sus ideas geniales. Salviati, quien habla en nombre de Galilei; Simplicio, que cree y sostiene las ideas de Aristóteles, y Sagredo, persona bien informada y amigo de Salviati y Simplicio.

Quien dice el análisis de los trabajos de Galilei, dice también de los trabajos de Newton, Rutherford o Einstein, entre muchos otros, que han llevado a la física hasta el nivel en el que se encuentra en los momentos actuales. De este modo, estudiar la física, al entender y comprender los métodos utilizados por los científicos, sin omitirlos como generalmente se hace, permite comprender mejor los problemas de aprendizaje de los alumnos cuando se enfrentan al estudio de esta. Por ello, hacer ciencia es un proceso complejo y de mucho esfuerzo.

Hacer ciencia trae tragedias como fueron la muerte de Marie Curie, al contraer anemia aplásica debido a sus investigaciones sobre la radioactividad que la llevó al descubrimiento del polonio y el radio; la muerte de Haroutune Krikor Daghljan, físico estadounidense que sufrió envenenamiento por radiación al efectuar experimentos de masa crítica para el Proyecto Manhattan, así como la muerte de Louis Alexander Slotin, físico y químico canadiense, que participó también en el Proyecto Manhattan y quien

accidentalmente comenzó una reacción de fisión que liberó un fuerte estallido de radiación, por lo cual muere nueve días después.

Hacer ciencia trae vicisitudes, como la condena que sufrieron Giordano Bruno y Galileo Galilei ante la Santa Inquisición y no hacer entrega a Albert Einstein del premio Nobel por sus trabajos acerca de la relatividad.

Hacer ciencia trae triunfos, como los premios nobeles recibidos por descubrimientos transcendentales realizados por científicos como Rutherford y Louis De Broglie. Sin embargo, también trae fracasos, como los intentos de algunos científicos, entre ellos Albert Einstein, para llegar a una teoría del campo unificado, que hasta el momento no se ha elaborado, aunque se espera lograrla, si se parte del hecho de la concatenación universal de los fenómenos (Kursanov, 1979).

El principio anterior plantea que, en el mundo exterior, objetivo, todo está relacionado y mutuamente condicionado y es, precisamente, la actividad psíquica la que constituye el reflejo de este mundo, por eso contiene no solo las imágenes de los objetos y los fenómenos del mundo exterior, sino el de sus lazos y relaciones.

Por todos los argumentos anteriores es que la didáctica de las ciencias, en especial de la física, tiene que esmerarse en la búsqueda de métodos eficaces para que la transmisión de los contenidos científicos pueda ser asimilada eficientemente. En este sentido resulta pertinente el empleo del método histórico-lógico.

La presentación de los contenidos físicos, ya elaborados, en los libros de textos escolares, no permite que el estudiante comprenda de forma holística cada concepto, principio, ley, teoría y modelo que estudia, todo lo contrario, se convierte en una máquina de repetición de palabras sin conocer el verdadero significado de estas.

El estudiante es capaz de asociar las magnitudes de masa y aceleración con la magnitud fuerza, pero no sabe el significado real de todas ellas en forma de ley, el por qué son esas magnitudes y no otras.

Ahora bien, hay que buscar el balance exacto entre contenido científico plasmado en los libros de texto dedicados a la física y el desarrollo histórico-lógico de estos. En la medida en que se logre este propósito, el estudiante dará mayor relevancia a los contenidos que recibe en clase o simplemente en su autogestión del aprendizaje, pues pequeños detalles que ilustren el escenario histórico donde se realiza un descubrimiento físico permite trasladarse al estudio e interpretar los sucesos, así como visualizar obstáculos u oportunidades que se pudieran presentar.

En tal sentido, el desarrollo histórico es realmente muy amplio y por ello no es posible plasmarlo en toda su vastedad en los libros; sin embargo, no debe omitirse por completo o casi por completo. Hay que plasmarlo en su justa medida, sobre todo en aquellos momentos que requieran la explicación de conceptos, principios, leyes y teorías esenciales. Por esta razón, se necesita establecer una correspondencia entre la didáctica

y el desarrollo histórico, de manera tal que tanto el profesor como el estudiante sean capaces de captar la complejidad de los procesos.

Existen diversas formas de plasmar el historicismo en los libros de texto de física, por ejemplo, se puede tratar explícitamente dentro del texto de un epígrafe o como una pregunta y escribirse como tarea docente al final de un capítulo. También al finalizar una clase, como tarea para la casa, puede orientarse una búsqueda histórica determinada con el objetivo de afianzar un contenido impartido o uno por impartir. Otra manera sería elaborar tareas investigativas de corte histórico para ser realizadas por pequeños grupos de estudiantes.

En relación con lo antes expuesto, los hombres dedicados a la ciencia física aprecian su historia porque aprenden de ella, razón más que suficiente para ser incluida en los libros de textos. El ejemplo quizás más elocuente es el de Newton, quien después de mantener una correspondencia privada con Hooke, alabó la contribución de este a la óptica y le escribe que “Descartes dio un paso significativo. Usted ha añadido numerosos y nuevos caminos, especialmente al considerar filosóficamente los colores de las láminas delgadas. Si he ido un poco más lejos, ha sido apoyándome en los hombros de unos gigantes” (Westfall, 1993, p. 134).

La historia de la física es uno de los pilares sobre el cual tienen que apoyarse los libros de texto dedicados a la física y la didáctica relativa a esta, para poder enseñarla y que sea aprendida de manera significativa. No basta con asociar magnitudes físicas en ecuaciones matemáticas y presentarlas como dogmas inmutables en los textos, hay que llegar a interiorizar su verdadero significado y ello solo se logra a través del desarrollo histórico que los conocimientos han tenido a lo largo del tiempo.

Cuando los profesores utilizan la historia de la física en sus clases, estas se tornan más atrayentes para los estudiantes, pero no son muchos los que hacen uso de ella y generalmente es porque la desconocen, no cuentan con los materiales necesarios o no tienen toda la preparación para hacerlo. Es cierto que no siempre pueden encontrarse libros impresos sobre la historia de la física en bibliotecas y librerías y mucho menos libros que contengan los trabajos originales realizados por los científicos, pero en la actualidad, con el “milagro” de la Internet, se pueden encontrar algunos de ellos con un poco de empeño.

En tal sentido, cuando un profesor o estudiante encuentra un artículo o libro escrito por un físico de etapas anteriores, siente y desarrolla el deseo de aprender más sobre la vida y la época de su autor, incluso puede descubrir qué hombres de ciencia fueron profesores y cuáles discípulos, y con ello comprender la secuencia de los descubrimientos en la historia de la física. Además, se verían identificados con la relación profesor-alumno en la búsqueda de respuestas a interrogantes de la ciencia.

En el caso de Albert Einstein, la lectura de sus obras propicia conocer sus principales descubrimientos, cómo pensaba, su amor por la paz, su odio a la guerra, su interés por la música, sus relaciones con los amigos, así como su vida íntima y familiar. Conocer de primera mano, a través de la historia de la física, a Einstein y otros investigadores, permite desterrar la imagen del científico parecido a un extraterrestre, encerrado en su laboratorio, despeinado, loco o cerca de la locura, y sacar a la luz el espíritu de abnegación, perseverancia y sacrificio que estos desarrollan en su afán por descubrir los secretos de la naturaleza.

Ningún investigador se desentiende de la historia de su ciencia por el valor que esta tiene para comprenderla y enseñarla mejor. Al respecto, De Broglie escribió que “una educación bien cumplida estaría incompleta sin la historia de las ciencias y de las realizaciones científicas” (citado por Seeger, 1964, pp. 619-625), así como que:

...la historia de la ciencia no puede dejar de interesar a los naturalistas: el científico encuentra en ella un sin número de lecciones, y enriquecido con su experiencia propia, puede mejor que cualquier otro interpretar estas lecciones con sus conocimientos (...) la historia de la ciencia puede darnos indicaciones útiles del método de enseñanza de la ciencia. (citado por Daniushenkov y Corona, 1991, p. 12).

Por su parte, Lederman (2003), Premio Nobel de Física en 1998, en la conferencia *The Role of Physics in Education*, planteó que “todas las disciplinas deberían dedicar un 20% o 30% [sic] a incluir aspectos seleccionados de la historia (...) las historias embebidas en el contenido contribuyen a crear un modo de pensamiento científico” (p. 6).

Descargar en su justa medida el contenido de los programas y libros de textos de física para integrar historia y contenido, y así alcanzar una mejor comprensión de estos, según nos expresa Lederman, fue visto también con anterioridad por Mach cuando destacó:

...que la cantidad de materia necesaria para una enseñanza útil (...) es muy pequeña (...) No conozco nada más terrible que las pobres criaturas que han aprendido demasiado (...) Lo que han adquirido es una maraña de pensamiento, demasiado débil para proporcionar soportes seguros, pero lo bastante complicada como para producir confusión. (citado por Matthews, 1994, p. 257)

La confusión a la que hace referencia Mach, también puede crearse cuando se utiliza la historia de las ciencias solo desde la perspectiva anecdótica y de manera banal o superflua. De ahí que, en las clases de Física es muy común contar anécdotas que ya los historiadores han demostrado que no son verdaderas o que están en duda.

Por ejemplo, se cuenta que Galilei, para comprobar que los cuerpos más pesados no caían más rápidamente que los más ligeros, dejó caer desde la torre inclinada de Pisa dos esferas, una de madera y otra de hierro, y aquellos que observaban este experimento pudieron ver que las dos esferas chocaban contra el suelo en el mismo intervalo de

tiempo. Al respecto, escribe Holton (1989^b) que “fue alrededor de 1590, mientras Galilei estaba en Pisa, cuando realizó un experimento público sobre las velocidades de pesos desiguales dejados caer desde el famoso Campanile de Pisa, aunque lo más probable es que la historia sea una leyenda” (p. 2). Más adelante, Holton (1989^b) plantea: “... como la anécdota es tan ampliamente conocida y popularmente se admite como un experimento crucial en la historia de la física” (p.2), lo cual es verdad, pero se hace necesario aclarar que lo incorrecto es omitir, por las consecuencias que ello puede ocasionar.

Incorrecto también es incluir conocimientos falsos o que están en duda, sin saber que estos lo son por falta de indagación científica, como comúnmente suele pasar. Según relata Holton (1989b)

... vale la pena analizar una fuente de la historia como son las notas biográficas de uno de sus últimos y más íntimos alumnos: Vincenzo Viviani, una historia cuya exactitud se ha puesto a veces en duda. Como a él (Galilei) le pareciese que un conocimiento real de la naturaleza del movimiento era necesario para la investigación de los efectos naturales, se abandonó completamente a la contemplación del mismo (movimiento): y, entonces, con gran confusión de todos los filósofos, demostró, mediante experimentos y sólidas pruebas y disertaciones, la falsedad de muchas conclusiones de Aristóteles sobre la naturaleza del movimiento que hasta entonces se consideraban claras e indudables; entre otras, que la velocidad de los cuerpos móviles de igual composición, pero de distinto peso, que se mueven a través del mismo medio, no depende de la proporción de sus pesos, como decía Aristóteles, sino que todos ellos se mueven con igual velocidad, cosa que demostró mediante repetidos experimentos realizados desde lo alto del Campanile de Pisa en presencia de todos, profesores, filósofos y alumnos. (p. 2).

En el caso de que Viviani haya inventado la historia del experimento anterior y que los profesores de Física, como usualmente se hace, hablen de esta para motivar a sus estudiantes, hay que hacerlo bien, sin omitir nada, y realizar un análisis de los documentos originales en los cuales se trate el tema. Un ejemplo de cómo debe efectuarse esta acción, es a través del análisis que hace Holton (1989b) al escribir que:

... debe observarse -en el escrito de Viviani- que se están comparando las velocidades de cuerpos de igual composición. Aparentemente, en 1590, Galilei creía que los cuerpos de igual densidad caían con la misma velocidad, pero que la velocidad de caída podía, aún, depender de la diferencia de densidad entre el objeto y el medio a través del cual caía. Los escritos de Galilei sobre mecánica durante este periodo indican que aún no había desarrollado la teoría presentada en su trabajo definitivo publicado en 1638. Según el cual todos los cuerpos, cualquiera que fuese su composición, deben caer en el vacío con igual velocidad.

Así, la interpretación de Galilei del famoso experimento de la Torre inclinada de Pisa, si es que fue realizado en aquel tiempo, no hubiera sido la misma que la más moderna. (p.2)

Otras de las anécdotas falsas o dudosas es aquella que dice que Galilei descubrió la ley del péndulo al observar la oscilación del candelabro de la catedral ubicada junto a la torre de Pisa, mientras rezaba. Sin embargo, es probable que la anécdota más recurrida en las clases de Física, también de origen falso o dudoso, es aquella que cuenta que Galilei, después de haber abjurado ante la Santa Inquisición, donde se retracta de su idea de que la Tierra giraba alrededor del Sol, llegó a exclamar “Eppur si muove”, que en español sería “sin embargo, se mueve”.

Quien lee la abjuración podrá percatarse que Galilei, después de la humillación a la que fue sometido, no pudo haber dicho la referida frase porque en ello le iba la vida que en principio defendía abjurando. Galileo científico, religioso y de una edad muy avanzada:

Qué bueno sería, en vez del “Eppur si muove”, llevado y traído de manera equivocada por los profesores en sus clases, discutir acerca de la actitud de Galilei ante los inquisidores. Hay quienes piensan que Galilei debió enfrentarse a los inquisidores y hasta dejarse quemar en la hoguera por defender sus ideas, como con anterioridad lo había hecho Giordano Bruno, quien en ningún momento se retractó de sus ideas y en consecuencia es condenado como:

...hereje, impenitente, contumaz y obstinado, según unos, o por apostasía y quebranto de sus votos monásticos, según otros, y a la edad de 52 años, fue quemado en una pira levantada en la Plaza Campo dei Fiori, en Roma, el 17 de febrero del año 1600. (Alamino, 2005, p. 62)

Sobre la actitud de Galilei, Brewster escribió que:

... si solamente hubiera Galileo, añadido el valor del mártir a la sabiduría del hombre de ciencia; si hubiera fulminado con la mirada de sus ojos indignados al concurso de sus jueces; si hubiera levantado sus manos al Cielo e invocado al propio Dios como testigo de la verdad e inmutabilidad de sus opiniones, el fanatismo de sus enemigos se habría visto desarmado y la ciencia se hubiera anotado un triunfo memorable. (citado por Altshuler, 1966, p. 81)

Realmente lo escrito por Brewster era una posibilidad, pero existía también la posibilidad de que hubiera sido quemado, inclusive junto a su obra, y la ciencia hubiera perdido todo un arsenal de conocimientos descubiertos y descritos por uno de los genios más grandes de la humanidad. Una historia así, rica en matices, no debe ser omitida ni en los libros de textos ni en las clases de Física.

En correspondencia con lo antes expuesto, la historia de la física- imbricada en la enseñanza en forma precisa- permite que los alumnos puedan adquirir una comprensión de la naturaleza de la física, tal como ella es practicada por los verdaderos científicos.

Esto se debe a que la enseñanza de la física y la historia más que parecer, se complementan la una a la otra, están integradas. Ambas le dan al estudiante una comprensión completa de la naturaleza de la física, como actividad intelectual y humana.

Por ello, el valor del historicismo en la física permite, entre otras razones, mostrar el papel que ha desempeñado la física en cuanto al desarrollo de las demás ciencias, la cultura general y científica y la sociedad, así como la influencia que esta ha tenido sobre la estructura del pensamiento humano y sobre los conocimientos que actualmente existen.

Asimismo, la historia de la física permite enseñar de manera holística todos los elementos concernientes a la referida ciencia, ya que muestra el proceso bajo el cual se desarrolla la actividad científica. Además, pone de manifiesto la relación dialéctica entre la física y la tecnología y elimina o minimiza el carácter metafísico de la física durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta.

La historia de la física permite ver que la gama de conocimientos generada por los científicos en todos estos siglos va aparejada de discusiones, apegos, desgracias, tragedias, así como de mucho amor y optimismo, lo que hace de ella un ente de motivación, tanto para estudiantes como para profesores.

Quien conoce de historia de la física, conoce de esta ciencia, la comprende mejor y evita tener preconcepciones o ideas alternativas en su estructura cognitiva, asimismo, sabe luchar mejor contra las preconcepciones o ideas alternativas que puedan tener sus estudiantes.

En consonancia con lo anterior, la física no es una ciencia abstracta ni descontextualizada, así lo demuestra su historia. Con ella interactúan todas las esferas de la naturaleza y la sociedad y con esas interacciones debe ser enseñada. En el momento de impartir la física aplicada a determinada ingeniería o especialidad que la requiera en su base curricular, esta ciencia deja de ser abstracta para convertirse en una respuesta a interrogantes que se presentan en otras especialidades, así mismo debe ser tratada en todos los casos.

El papel de la historia de la física está muy ligado a la enseñanza de dicha ciencia, es un componente esencial de esta. Los profesores de Física deben ser conscientes de ello si quieren estar a la altura de los tiempos que transcurren, aunque lamentablemente los cursos de historia de la física y de su epistemología no abundan en el currículo de formación de profesores o el tiempo que se les da para ser impartido es muy pobre, además de no aparecer prácticamente en los libros de texto dedicados a la presentación de la física para su estudio por los estudiantes.

Existen dos maneras de introducir la historia y epistemología de la física en el currículo de formación de profesores, una de ellas es por medio de la inclusión de un curso, con una cantidad de horas adecuadas, y la otra es darle tratamiento en cada una de las asignaturas de la formación específica que el estudiante reciba durante su carrera.

Hay partidarios de ambas modalidades, pero lo cierto es que de una manera u otra tiene que estar presente el historicismo. Cuando se está en presencia de un libro de texto de Física, tanto estudiantes como profesores dan por entendido que el autor o los autores de este han revisado y conocen las fuentes originales de donde proviene todo el conocimiento que debe ser aprendido, por supuesto escrito y organizado de manera tal que pueda ser comprendido por los estudiantes de acuerdo al nivel educativo donde se encuentren. Sin embargo, no es así del todo, casi siempre solo aparecen como referencias históricas los nombres de los científicos involucrados, algunas fechas y nada más. Además, en los exámenes no aparece ningún elemento relacionado con la historia de la física.

La Física, casi en su totalidad, siempre es evaluada por medio de problemas. Lamentablemente, lo importante para los profesores es que los estudiantes aprendan los contenidos presentados en el libro para que sepan cómo solucionar los problemas que aparecen al final del capítulo y puedan aprobar su curso.

En los libros de texto de Física casi nunca se hace mención a obras como los *Principia* (1999) de Newton o los *Diálogos sobre dos nuevas ciencias* (1981) de Galilei y siempre cabe pensar si el autor o los autores conocen de estos libros y si lo han leído. La lectura de dichas obras no es tarea fácil por la manera en que los dos genios escribieron, como tampoco son fáciles de leer los libros escritos por otros científicos. Sin embargo, un profesor de Física tiene que acercarse a ellos y leerlos, sobre todo aquel que se dedica a escribir los libros de texto.

No hay mejor aprendizaje y comprensión de la mecánica clásica que la que se obtiene al leer las obras mencionadas, por solo citar un ejemplo. Hay profesores que comentan que para aprender mecánica o cualquier otra parte de la física solo basta con estudiar los libros de texto escritos al respecto. Quienes piensan así, muy alejados se encuentran de la obtención de un conocimiento profundo y sólido de la física.

Por lo general, los que escriben libros de texto hacen mención a lo que dicen otros libros y a las interpretaciones que otros hacen de lo que escribió o dijo tal o mas cual científico, lo que conlleva casi siempre a historias distorsionadas por omitirse las fuentes primarias.

Por tanto, los que se dedican a escribir libros de texto de física deben leer las obras originales de los científicos a los cuales harán referencia, para que así no existan interpretaciones erróneas de los contenidos. Con respecto a esta cuestión, según el criterio de los autores, existen dos libros de texto y un proyecto dedicados a la enseñanza de la Física, que son paradigmas en cuanto a presentar esta ciencia desde una perspectiva histórica y ejemplos de excelencia para el campo de la física y su didáctica. Dichos libros son *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, de Gerald Holton (1952) y *Evolución de los conceptos de la física*, de Arnold B. Arons (1970), ambos profesores de Física de la Universidad de Harvard, el segundo ya fallecido. En estas

obras, los conceptos, principios, leyes, teorías y modelos de la física se estudian desde una perspectiva histórica y filosófica.

El Premio Nobel de Física I. Rabi, dijo que cualquier ciencia:

...debe enseñarse en cualquier nivel, desde el más bajo a lo más alto, a la manera humanística. Por lo que quiero decir que debe enseñarse con una cierta comprensión histórica, en el sentido de la biografía, la naturaleza de las personas que hicieron esta construcción, los triunfos, las pruebas, las tribulaciones.” (Holton, Rutherford y Watson, 1971, p. 1)

Ahora bien, si el historicismo es esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física, en la formación de los conceptos, principios, leyes, modelos y teorías, también lo es la inclusión de la lógica y, dentro de la misma, la lógica formal en el análisis de cada uno de ellos.

LA LÓGICA FORMAL Y SU PAPEL EN EL ESTUDIO DE LA FÍSICA

¿Por qué los estudiantes de Física de hoy son cada vez menos fuertes conceptualmente? Una de las razones, es el desconocimiento de la evolución histórica de las diferentes formas en que se encuentra el conocimiento científico organizado.

Otra de las razones viene dada por la idea de formación que se ha estado utilizando en los últimos años y es aquella referida a que la educación debe ser cada vez más pertinente a la pragmática contextual, cuando en realidad, en la crítica, en el desarrollo de habilidades de pensamiento lógico, es cuando se hace posible encontrar una educación para la vida crítica y, no para una vida sin distancia, completamente uniforme y homogénea.

Es necesario aprender y enseñar a pensar si queremos acceder a un pensamiento más eficaz y mejorar los procesos de razonamiento. Para esto, el alumno debe aprender a razonar abductivamente, deductivamente e inductivamente pues así accede al proceso científico de manera creativa. Por tanto, formar personas que sepan pensar críticamente significa enseñarles a utilizar la lógica para razonar con rigor.

Según González (2009), la lógica fue:

...creada por Aristóteles de Estagira (384-322 a.n.e.), a partir de la sistematización de los conocimientos sobre el tema, al plasmar en leyes y formas del pensar, los resultados de la actividad humana, y así, garantizar la corrección del acto de pensar. (p.73)

Varona (1902) consideró que:

La Lógica sirve para comprender que nuestros conocimientos son ciertos. Es decir que, aplicando las reglas de la lógica, tratamos de buscar la verdad o de evitar el error. El hombre busca la verdad porque necesita ajustar sus acciones a su conocimiento. (p.7)

Se considera que, la primera piedra de la lógica formal la aportó Aristóteles, en sus trabajos de silogística, la cual es la teoría acerca del razonamiento sistémico deductivo, cuyo objetivo fundamental es aclarar las condiciones generales en que, de unos juicios que afirman si el predicado es o no inherente al sujeto y que se representan en calidad de premisas de una conclusión, se sigue o no, necesariamente a una consecuencia determinada. Todo silogismo consta de tres juicios: dos premisas y una conclusión.

A la lógica formal se le reconoce como la ciencia que estudia los actos del pensar, dados en conceptos, juicios, razonamientos y demostraciones, desde el punto de vista de su forma y estructura, con abstracción del contenido concreto del pensamiento y, tomando, solo, el procedimiento general de conexión entre las partes de ese contenido. Su objetivo básico es formular leyes y principios cuya observancia es condición necesaria para alcanzar resultados verdaderos en el proceso encaminado a proporcionar un saber inferido, (Rosental e Iudin, 1981).

La lógica formal es reconocida, además, como la lógica del pensar armonioso, coherente y no contradictorio. (González, 2007). Recuérdese que, el estudio de las contradicciones es propio de su par disciplinar filosófico, la lógica dialéctica.

La educación debe “aplicar la lógica” en el análisis de los discursos de la física. Al respecto, Copi y Cohen (1999) plantean:

Se pueden obtener beneficios obvios del estudio de la lógica: desarrollar habilidades para expresar ideas de manera clara y concisa, incrementar la capacidad de definir los términos que utilizamos y aumentar la capacidad de elaborar argumentos en forma rigurosa y de analizarlos críticamente. Pero quizás el mayor beneficio es el reconocimiento de que la razón se puede aplicar en todos los aspectos de las relaciones humanas. (p.7)

En fin, que la lógica formal es una rama de la lógica que se ocupa del estudio de los principios y estructuras del razonamiento a través de un lenguaje formal y reglas bien definidas. Se centra en la relación entre las proposiciones, independientemente del contenido específico de las mismas.

La lógica formal tiene varios objetivos fundamentales, entre los cuales se destacan:

1. Clarificación del razonamiento: La lógica formal busca proporcionar un marco claro y preciso para el razonamiento. Esto implica definir reglas y estructuras que permitan evaluar la validez de los argumentos.

2. **Evaluación de argumentos:** Uno de los objetivos principales es determinar si un argumento es válido o no. Esto se realiza a través de la identificación de la relación entre las premisas y la conclusión.

3. **Desarrollo de sistemas deductivos:** La lógica formal establece sistemas de deducción que permiten derivar conclusiones a partir de premisas dadas, utilizando reglas formales.

4. **Formalización del lenguaje:** La lógica formal se ocupa de la representación de proposiciones y relaciones mediante símbolos y fórmulas, lo que facilita el análisis y la manipulación de argumentos.

5. **Prevención de falacias:** Al establecer reglas claras para el razonamiento, la lógica formal ayuda a identificar y evitar errores de razonamiento o falacias.

6. **Interdisciplinariedad:** La lógica formal tiene aplicaciones en diversas disciplinas, como matemáticas, filosofía, informática y lingüística, facilitando el análisis riguroso en estos campos.

7. **Modelado de situaciones complejas:** Permite representar y analizar situaciones complejas mediante estructuras lógicas, lo que puede ser útil en áreas como la inteligencia artificial y la teoría de juegos.

En resumen, la lógica formal tiene como objetivo principal proporcionar herramientas y métodos para el análisis riguroso del razonamiento, contribuyendo así al entendimiento y la claridad en la argumentación.

PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LÓGICA FORMAL

La lógica formal se compone de varios elementos fundamentales que permiten estructurar y analizar el razonamiento. Los principales componentes son:

1. **Proposiciones:** Son las unidades básicas de la lógica formal. Una proposición es una declaración que puede ser verdadera o falsa, pero no ambas al mismo tiempo. Por ejemplo, "El cielo es azul" es una proposición.

2. **Conectivos lógicos:** Son símbolos que se utilizan para combinar proposiciones y formar proposiciones más complejas. Los conectivos más comunes son:

- **Negación (\neg):** Indica que una proposición es falsa.

- **Conjunción (\wedge):** Representa la "y" lógica, que es verdadera solo si ambas proposiciones son verdaderas.

- **Disyunción (\vee):** Representa la "o" lógica, que es verdadera si al menos una de las proposiciones es verdadera.

- **Condicional** (\rightarrow): Representa la implicación, que es falsa solo si la primera proposición es verdadera y la segunda es falsa.

- **Bicondicional** (\leftrightarrow): Indica que dos proposiciones son equivalentes, es decir, son verdaderas o falsas al mismo tiempo.

3. **Variables:** Se utilizan para representar proposiciones de manera general. Por ejemplo, p , q y r son comúnmente usados como variables proposicionales.

4. **Fórmulas:** Son expresiones formadas por proposiciones y conectivos lógicos. Pueden ser simples (una sola proposición) o compuestas (una combinación de varias proposiciones).

5. Tautologías y contradicciones:

- **Tautología:** Es una fórmula que es verdadera en todos los casos posibles.

- **Contradicción:** Es una fórmula que es falsa en todos los casos posibles.

6. **Reglas de inferencia:** Son principios que permiten derivar conclusiones válidas a partir de premisas dadas. Ejemplos incluyen el modus ponens, el modus tollens y la de silogismo disyuntivo.

7. **Sistemas de deducción:** Son conjuntos de axiomas y reglas de inferencia que forman un marco formal para realizar deducciones lógicas.

8. **Semántica:** Se refiere al estudio del significado de las fórmulas y cómo se relacionan con la verdad o falsedad en diferentes interpretaciones.

9. **Sintaxis:** Se ocupa de las reglas que rigen la formación de expresiones bien formadas en el lenguaje lógico.

Estos componentes trabajan juntos para permitir la representación y análisis del razonamiento lógico, facilitando la evaluación de argumentos y la construcción de pruebas formales.

LA LÓGICA FORMAL EN EL APRENDIZAJE DE LAS LEYES FÍSICAS

1. **Estructuración del razonamiento:** La lógica formal ayuda a estructurar el razonamiento científico. Las leyes de la física a menudo se expresan en forma de proposiciones y relaciones matemáticas, y entender cómo se relacionan estas proposiciones es esencial para comprender los contenidos físicos.

2. **Validación de argumentos:** En física, es crucial validar argumentos y teorías. La lógica formal proporciona herramientas para evaluar la validez de los razonamientos y las inferencias que se hacen a partir de observaciones experimentales.

3. **Desarrollo de teoremas:** Muchas leyes físicas se derivan mediante razonamientos lógicos a partir de principios fundamentales. La lógica formal permite formular y demostrar teoremas, asegurando que las conclusiones son válidas bajo ciertas condiciones.

4. **Modelado matemático:** La física utiliza modelos matemáticos para describir fenómenos naturales. La lógica formal proporciona el marco necesario para manipular estos modelos y derivar resultados significativos.

5. **Resolución de problemas:** La capacidad de razonar lógicamente es fundamental para resolver problemas en física. La lógica formal enseña a identificar premisas, aplicar reglas y llegar a conclusiones válidas, habilidades esenciales en el análisis físico.

6. **Claridad conceptual:** La lógica formal fomenta una mayor claridad en la formulación de preguntas y respuestas en física, ayudando a evitar ambigüedades y confusiones que pueden surgir en el estudio de conceptos complejos.

Ejemplo Práctico

Considera la ley de conservación de la energía, que establece que la energía total en un sistema aislado permanece constante. Usando lógica formal, podemos expresar esta ley como una proposición y utilizar cuantificadores para hacer afirmaciones sobre diferentes sistemas:

- Si E es la energía total, podemos decir $\forall t (E(t) = \text{constante})$, lo que significa que para todo tiempo t , la energía total del sistema es constante.

Esto permite analizar situaciones específicas (como colisiones o transformaciones de energía) utilizando reglas lógicas para derivar conclusiones sobre el comportamiento del sistema.

Conclusión

La lógica formal es una herramienta poderosa en el aprendizaje y la aplicación de las leyes de la física. Proporciona un marco riguroso para el razonamiento, la validación y la formulación de teorías, lo que es esencial para comprender y aplicar los principios físicos en diversas situaciones.

CUANTIFICADORES EN LA LÓGICA FORMAL

En lógica formal, los cuantificadores son símbolos que permiten expresar la cantidad de elementos que cumplen una determinada propiedad en un conjunto. Los dos cuantificadores más comunes son:

1. **Cuantificador universal** (\forall): Este símbolo se lee como "para todo" o "para cada". Indica que una propiedad o afirmación es verdadera para todos los elementos de un conjunto. Por ejemplo, la expresión $\forall x P(x)$ significa "para todo x , $P(x)$ es verdadero".

2. **Cuantificador existencial** (\exists): Este símbolo se lee como "existe" o "hay al menos uno". Indica que hay al menos un elemento en un conjunto que cumple una determinada propiedad. Por ejemplo, la expresión $\exists x P(x)$ significa "existe al menos un x tal que $P(x)$ es verdadero".

Además, existen variantes de estos cuantificadores:

- **Cuantificador universal restringido:** A veces se usa un conjunto específico para restringir el cuantificador universal. Por ejemplo, $\forall x \in A, P(x)$ significa "para todo x en el conjunto A , $P(x)$ es verdadero".

- **Cuantificador existencial restringido:** Similarmente, se puede restringir el cuantificador existencial a un conjunto específico. Por ejemplo, $\exists x \in A, P(x)$ significa "existe al menos un x en el conjunto A tal que $P(x)$ es verdadero".

Estos cuantificadores son fundamentales en matemáticas y lógica, ya que permiten formular teoremas y argumentos de manera precisa.

Si como ya se planteó con anterioridad, el historicismo y la lógica formal son dos ejes esenciales para la enseñanza-aprendizaje de la física, pues la teoría del conocimiento es el tercero, tal y como se verá a continuación.

UN POCO MÁS SOBRE LOS CUANTIFICADORES

1. Cuantificador Universal (\forall)

- **Definición:** Se utiliza para indicar que una propiedad se aplica a todos los elementos de un conjunto. "El cuantificador universal se denota por el símbolo \forall y se lee como 'para todo'" (Huth, 2004, p. 102).

2. Cuantificador Existencial (\exists)

- **Definición:** Se utiliza para afirmar que existe al menos un elemento en el conjunto que cumple una propiedad. "El cuantificador existencial se denota por el símbolo \exists y se interpreta como 'existe al menos uno'" (Enderton, 2001, p. 50).

3. Cuantificador Universal Existencial ($\forall\exists$)

- **Definición:** Indica que para cada elemento de un conjunto existe al menos un elemento en otro conjunto que cumple una propiedad. "La expresión $\forall x \exists y P(x, y)$ significa que para cada x hay un y tal que $P(x, y)$ es verdadero" (Hurley, 2015, p. 250).

4. Cuantificador Existencial Universal ($\exists\forall$)

• **Definición:** Indica que existe un elemento en el conjunto tal que para todos los elementos de otro conjunto se cumple una propiedad. "La expresión $\exists x \forall y P(x, y)$ significa que hay un x tal que para todo y , $P(x, y)$ es verdadero" (Copi y Cohen, 2011, p. 145).

5. Cuantificadores Adicionales

Cuantificador de la Negación Existencial ($\neg\exists$)

• **Definición:** Este cuantificador indica que no existe ningún elemento en un conjunto que cumpla una propiedad específica. "La expresión $\neg\exists x P(x)$ se interpreta como 'no existe ningún x tal que $P(x)$ sea verdadero'" (Huth, 2004, p. 104).

Cuantificadores Compuestos

• **Definición:** Los cuantificadores pueden combinarse para expresar relaciones más complejas entre conjuntos. "La combinación de cuantificadores permite la formulación de enunciados más ricos en lógica matemática" (Enderton, 2001, p. 55).

TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La teoría del conocimiento se refiere a las diversas teorías y enfoques que intentan explicar cómo adquirimos el conocimiento y cómo validamos nuestras creencias. Puede incluir aspectos de la epistemología, pero también puede abarcar enfoques más específicos o prácticos sobre el aprendizaje y la adquisición de conocimientos en las distintas disciplinas. La teoría del conocimiento puede abarcar teorías empiristas, racionalistas, constructivistas, entre otras, cada una con su propia perspectiva sobre cómo se genera el conocimiento.

Por su parte la epistemología, es una rama de la filosofía que estudia la naturaleza, el origen, los límites y la validez del conocimiento. Se centra en preguntas fundamentales como: ¿qué es el conocimiento? ¿cómo se adquiere? ¿qué justifica nuestras creencias? ¿cuáles son las fuentes del conocimiento? La epistemología también investiga los criterios que utilizamos para determinar qué es verdadero o falso, así como la relación entre el sujeto que conoce y el objeto conocido.

La epistemología es un componente fundamental de la teoría del conocimiento, ya que proporciona el marco filosófico y crítico para entender y evaluar las diferentes teorías sobre cómo adquirimos y justificamos nuestro conocimiento.

Algunos de los temas centrales de la teoría del conocimiento incluyen:

1. Definición de conocimiento: Tradicionalmente, el conocimiento se ha definido como "creencia verdadera justificada". Esto significa que para que alguien se considere que "sabe" algo, debe creer en ello, debe ser verdad y debe tener una justificación adecuada.

2. Fuentes del conocimiento: Se exploran diferentes fuentes a través de las cuales adquirimos conocimiento, como la percepción sensorial, la razón, la intuición y la experiencia.

3. Escepticismo: Esta es una postura que cuestiona la posibilidad de obtener conocimiento verdadero. Los escépticos argumentan que podemos dudar de casi todo lo que creemos saber.

4. Justificación: Se estudia cómo justificamos nuestras creencias y qué criterios utilizamos para determinar si una creencia está bien fundamentada.

5. Tipos de conocimiento: Se distingue entre diferentes tipos de conocimiento, como el conocimiento proposicional (saber qué), el conocimiento práctico (saber cómo) y el conocimiento a priori (independiente de la experiencia) y a posteriori (dependiente de la experiencia).

La epistemología es fundamental no solo en filosofía, sino también en otras disciplinas como la ciencia, la educación y la psicología, ya que aborda cuestiones sobre cómo entendemos el mundo y cómo llegamos a adquirir y validar nuestras creencias.

Los conceptos, juicios y razonamientos desempeñan roles fundamentales en la teoría del conocimiento al ser componentes esenciales en la forma en que adquirimos, organizamos y evaluamos el conocimiento. A continuación, se detalla el papel de cada uno:

1. Conceptos

- **Definición:** Los conceptos son representaciones mentales que nos permiten clasificar y entender experiencias, objetos, ideas y fenómenos. Son las "unidades básicas" del pensamiento. Según Ruggiero (2015), "un concepto es una idea general que se forma a partir de ejemplos específicos" (p. 45).

• Papel en el conocimiento:

- **Categorizar la experiencia:** Los conceptos nos ayudan a organizar la información y a dar sentido a nuestra experiencia del mundo. Por ejemplo, el concepto de "árbol" nos permite identificar y agrupar diferentes tipos de árboles bajo una misma categoría.

- **Facilitar la comunicación:** Al compartir conceptos comunes, las personas pueden comunicarse de manera más efectiva sobre ideas y experiencias.

- **Base para el razonamiento:** Los conceptos son fundamentales para formular juicios y razonamientos, ya que nos permiten establecer relaciones entre diferentes ideas.

2. Juicios

- **Definición:** Un juicio es una afirmación o declaración que expresa una creencia sobre una situación o un objeto, generalmente formulada como una proposición que puede ser

verdadera o falsa. Según Kant (1781/1998), "el juicio es la operación mediante la cual un sujeto determina si una determinada relación se sostiene entre dos conceptos" (p. 45)

• **Papel en el conocimiento:**

- **Formulación de creencias:** Los juicios son la forma en que expresamos nuestras creencias sobre el mundo. Por ejemplo, el juicio "El agua hierve a 100 grados Celsius" es una afirmación sobre una propiedad del agua.

- **Justificación:** Los juicios deben ser justificados para ser considerados conocimiento. La epistemología se ocupa de cómo se justifican los juicios y qué criterios se utilizan para evaluar su validez.

- **Construcción de teorías:** A través de juicios interrelacionados, se pueden construir teorías más complejas que explican fenómenos o agrupan conocimientos.

3. Razonamientos

- **Definición:** El razonamiento es el proceso mental mediante el cual se llega a conclusiones a partir de premisas. Puede ser deductivo (donde las conclusiones se derivan lógicamente de las premisas) o inductivo (donde se generalizan conclusiones a partir de casos particulares). Según Toulmin (2003), "el razonamiento es el arte de encontrar y evaluar las razones que justifican nuestras creencias" (p. 12).

• **Papel en el conocimiento:**

- **Desarrollo de inferencias:** El razonamiento permite inferir nuevas verdades a partir de lo que ya sabemos, ampliando así nuestro conocimiento.

- **Evaluación crítica:** A través del razonamiento, podemos analizar y evaluar la validez de los juicios y los argumentos, lo que es esencial para el pensamiento crítico.

- **Resolución de problemas:** El razonamiento es clave para enfrentar y resolver problemas, ya que nos ayuda a encontrar soluciones basadas en la información disponible.

En resumen, los conceptos proporcionan las herramientas básicas para pensar y categorizar, los juicios son las afirmaciones que expresan una relación entre dos o más conceptos, y el razonamiento es el proceso mediante el cual conectamos esos juicios para llegar a conclusiones y expandir nuestro conocimiento. Juntos, forman la base sobre la cual construimos y evaluamos nuestro entendimiento del mundo.

Las principales corrientes dentro de la epistemología incluyen el empirismo, el racionalismo y el constructivismo.

1. Empirismo:

- Sostiene que el conocimiento proviene principalmente de la experiencia sensorial.

John Locke al respecto dice: "No hay nada en la mente que no haya estado primero en los sentidos" (Arias, 2004, p.81).

2. Racionalismo:

- Afirmación de que la razón es la principal fuente de conocimiento, más allá de la experiencia.

René Descartes plantea que: "La razón es la única fuente de conocimiento verdadero"(Arias, 2004, p.81).

3. Constructivismo:

- Propone que el conocimiento es construido por los individuos a través de sus experiencias y reflexiones.

Jean Piaget concluye que: El conocimiento se construye, no se descubre o lo que es lo mismo: "El niño no almacena conocimientos, sino que los construye mediante la interacción con los objetos circundantes" (Maldonado, 2001, p.113).

La teoría del conocimiento es fundamental para entender cómo interactuamos con el mundo y cómo justificamos nuestras creencias. Cada corriente ofrece diferentes perspectivas sobre la adquisición y la validación del conocimiento, lo que enriquece el debate filosófico.

En conclusión, este libro ofrecerá al lector una guía acerca de cómo se puede establecer y aplicar la relación entre la física, su historia, la lógica formal y la teoría del conocimiento, a las leyes de la física dentro de la mecánica newtoniana. Por ello, nada mejor que comenzar con Issac Newton, grande entre los grandes, quien se involucra en todas las leyes aquí tratadas por los autores.

ISAAC NEWTON: LA GRANDEZA DE UN GENIO

Isaac Newton, nació el día de navidad de 1642, el mismo año en que falleció Galileo Galilei. Como Galileo, a Newton le gustaba construir y experimentar con aparatos mecánicos, además de poseer una fuerte inclinación hacia las matemáticas. A los 24 años de edad, calladamente, había hecho importantes descubrimientos en las matemáticas, la óptica, la mecánica y la gravitación.

En 1687 Newton se estableció como uno de los más grandes pensadores de la Historia, a partir de la publicación de su libro *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, conocido también como los *Principia*.

"En1699 fue nombrado Jefe de la Casa de la Moneda, en parte debido a su gran interés y gran conocimiento sobre la química de los metales que parece ayudado a restablecer la alterada moneda del país" (Arons,1970, p.328). Aquí se encargó de controlar la acuñación de las nuevas monedas, que venían a sustituir a las anteriores, talladas a mano y fácilmente falsificables. Su dedicación fue absoluta y tan perfeccionista con las

monedas como con sus experimentos científicos, como atestigua el centenar largo de falsificadores detenidos.

“En 1689 y 1701 representó a su universidad en el Parlamento. Fue hecho caballero en 1705. Desde 1703 hasta su muerte fue presidente de la Real Sociedad. Fue enterrado en la Abadía de Westminster” (Arons, 1970, p.328).

Newton fue un genio, ello no lo duda nadie,

...sin embargo, con respecto a sus cualidades humanas los pareceres, aún siguen siendo bastante concordantes...así Whiston, su sucesor en la cátedra Lucasiana, decía de él: Uno de los temperamentos más temerosos, cautelosos y suspicaces que he conocido nunca>. Más demoledor todavía es el siguiente comentario de Aldous Huxley: <Si desarrolláramos una raza de Isaac Newton, esto no sería progreso. Pues el precio que tuvo que pagar Newton por ser un intelecto supremo fue que era incapaz de amistad, amor, paternidad y muchas otras cosas deseables. Como hombre fue un fracaso; como monstruo fue soberbio>.(Trigo,(s/f),pp.65)

Los anteriores comentarios son realizados a partir de las disputas y la manera en que Newton trató a los que llegó a considerar sus enemigos en el ámbito científico, en especial con Leibniz y Hooke. Pero también es digno de destacar que tuvo facetas positivas en el trato hacia otros.

En carta a Hooke, con quien tuvo fuertes contradicciones, pero al cual halagó en ciertos momentos, escribió que: “no hay nada que desee evitar más en cuestiones de filosofía que la discusión, y ningún tipo de discusión más que la impresa” (Holton, 1989a) y, en correspondencia privada, como ya fue señalado con anterioridad le dice que, “usted ha añadido numerosos y nuevos caminos, especialmente al considerar filosóficamente los colores de las láminas delgadas. Si he ido un poco más lejos, ha sido apoyándome en los hombros de unos gigantes” (Holton, 1989a).

Por otra parte, son célebres las disputas entre los partidarios de Newton y Leibniz para dilucidar cuál de ambos había creado el cálculo diferencial y cuál era un vulgar plagiador. Eso fue lo que sucedió con Newton y Leibniz y hay que destacar que la notación de éste último era mucho más cómoda que la de Newton, razón por la cual ha sobrevivido hasta nuestros días.

El envanecimiento, por otra parte, no fue uno de sus defectos. Ya siendo mayor escribió:

No sé lo que pueda parecer al mundo, pero, para mí mismo, sólo he sido como un niño jugando a la orilla del mar, divirtiéndome al encontrar una concha más hermosa que de costumbre, mientras que el gran océano de la verdad permanece sin descubrir ante mí. (Trigo, (s/f), p. 65)

Newton alcanzó tal renombre por sus trabajos, que sucedió a su maestro como profesor de matemáticas. Dio conferencias y publicó sus artículos en Royal Society, particularmente sobre óptica. Pero su Teoría acerca de la luz y los colores, cuando se publicaron en 1672, le envolvieron en tan amargas controversias con sus rivales, que tímido e introvertido, resolvió no publicar ninguna otra cosa. Como Bertand Russell decía: “Si Newton hubiese encontrado el tipo de oposición que soportó Galileo, es probable que nunca hubiera publicado una línea” (Holton, 1989b, p. 4).

En 1684 ya eran conocidas las leyes de Kepler y se suponía que la fuerza de atracción seguía una ley de cuadrado inverso, pero nadie todavía lo había conseguido demostrar. El astrónomo Edmund Halley solicitó ayuda a Newton y el comentario de éste lo dejó completamente asombrado:

Lo he sabido desde hace años, pero si me da unos días encontraré la forma de demostrarlo... Tres meses tardó en enviarme el manuscrito *De motu corporum in gyrum*. Sólo nueve páginas donde probó que la órbita de los planetas alrededor de Sol era elíptica y que se cumple la ley de cuadrados inversos>. (Trigo, (s/f), p. 70).

Y continúa Trigo (s/f) dando más detalles al respecto:

Ante la insistencia de sus amigos y colegas, especialmente Halley, Newton emprendió la tarea de estructurar sus trabajos y darles una cierta unidad. Para ayudarle a elaborar su obra maestra, los *Principia*, contrató a un pariente lejano, Humphrey Newton, a modo de secretario durante cinco años (de 1684 a 1689)...de hecho, el manuscrito de los *Principia* está escrito por Humphrey. Su ritmo de trabajo fue frenético, durmiendo solo 4 o 5 horas diarias, y así en abril de 1686 pudo presentar en la Royal Society el primer libro de *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*), abreviadamente conocido por los *Principia*. Escrito directamente en latín, para que fuese comprensible a toda la comunidad científica, obtuvo enseguida un merecido reconocimiento. (p. 70)

Y si comúnmente las personas se refieren a los genios como locos, pues en el caso de Newton, tienen cierta razón. Trigo (s/f) sobre este tema escribe que:

En 1693 sufrió una crisis mental de proporciones notables, sin motivo aparente. Hay especialistas que lo achacan al desgaste sufrido por la redacción de los *Principia*, pero tampoco sería nada extraño que fuese una consecuencia de la ingestión de algunos productos tóxicos en experimentos alquimistas. Lo cierto es que tardó casi dos años en superar la crisis y ya nunca más alcanzó los niveles de genialidad, aunque su fama siguió siendo enorme”. (p. 72)

Lo anterior lo reafirma Holton (1989b):

Al recuperarse y hasta su muerte, acaecida treinta y cinco años después, no

realizó nuevos descubrimientos importantes, dedicándose a sus primitivos estudios sobre el calor y la óptica, y cada vez más, a la teología y la alquimia. Durante aquellos años recibió honores en abundancia. (p.4)

Todas las ideas que Newton tenía sobre la física y la matemática fueron expresadas en el libro, los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, entiéndase por Filosofía Natural a la Física.

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica es uno de los más importantes libros, en la historia de la física. Editado en 1687 y aceptado casi incondicionalmente de manera inmediata, lo que le permitió a Isaac Newton, gozar en vida de una extraordinaria popularidad, no sólo en los ámbitos académicos, sino incluso en los políticos.

En el prefacio original de su trabajo, Newton (1687) plantea:

Como los antiguos (según nos dice Pappus) estimaban a la ciencia de la mecánica como de máxima importancia en la investigación de las cosas naturales, y los modernos, rechazando formas sustanciales y cualidades ocultas, han tratado de sujetar los fenómenos de la naturaleza a las leyes de la matemática, en este tratado he cultivado las matemáticas en cuanto están relacionadas a la filosofía...pues toda la carga de la filosofía me parece consistir en esto; de los fenómenos de los movimientos investigar (inducir) las fuerzas de la naturaleza, y entonces de estas fuerzas demostrar (deducir) los otros fenómenos y hacia este fin están dirigidas las proposiciones generales del primero y segundo Libros. En el tercer libro doy un ejemplo de esto en la explicación del sistema del universo; pues por las proposiciones demostradas matemáticamente en los libros anteriores, en el tercero derivó, a partir de los fenómenos celestes, las fuerzas de gravedad con las cuales los cuerpos tienden hacia el Sol y los diversos planetas. Entonces, a partir de las fuerzas, por otras proposiciones que también son matemáticas, deduzco los movimientos de los planetas, los cometas, la Luna y el mar (mareas). (p.1)

La obra empieza con un conjunto de definiciones en las que se establecen conceptos tales como masa, cantidad de movimiento y fuerza centrípeta, entre otros. A continuación, en un "Escolio" se explican los conceptos de lugar, espacio, tiempo y movimiento absolutos, diferenciándolos de los relativos. Newton señala la distinción entre absoluto y relativo, verdadero y aparente, matemático y común.

Es de interés saber que Newton apenas hace uso explícito del concepto de cantidades absolutas, porque, como dice correctamente, las partes de ese espacio inmóvil (absoluto), en el cual esos movimientos se llevan a cabo, de ningún modo, caen bajo la observación de nuestros sentidos.

Inmediatamente y con sólo una discusión superficial de cada una de ellas, aparecen las leyes de movimiento, enunciadas de manera axiomática. Finalmente, antes de

entrar al Libro Primero *El Movimiento de los Cuerpos*, Newton plantea seis corolarios en los que, entre otras cosas, trata sobre el carácter vectorial de las fuerzas, velocidad, la cantidad de movimiento y el centro común de gravedad.

En algún lugar posterior habla sobre “las reglas del razonamiento en la filosofía” o “*REGLAS PARA FILOSOFAR*”. (Arons, 1970, p. 325)

A estas reglas hace referencia en varios momentos, sobre todo cuando trata el tema de la gravitación universal en el libro tercero. Originalmente las reglas dicen:

REGLA I

No deben admitirse más causas de las cosas naturales que aquellas que sean verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos. Ya dicen los filósofos: la naturaleza nada hace en vano, y vano sería hacer mediante mucho lo que se puede hacer mediante poco. Pues la Naturaleza es simple y no derrocha en superfluas causas de las cosas.

REGLA II

Por ello, en tanto que sea posible, hay que asignar las mismas causas a los efectos naturales del mismo género. Como en el caso de la respiración en el hombre y en el animal; de la caída de las piedras en Europa y en América; de la luz en el fuego de la cocina y en el Sol; de la reflexión de la luz en la Tierra y en los planetas.

REGLA III

Han de considerarse cualidades de todos los cuerpos aquellas que no pueden aumentar ni disminuir y que afectan a todos los cuerpos sobre los cuales es posible hacer experimentos. Pues las cualidades de los cuerpos sólo mediante experimentos se esclarecen, y por lo mismo se han de establecer como generales cuantas cuadran generalmente con los experimentos; y aquellas que no pueden disminuir, tampoco pueden ser suprimidas. Ciertamente no hay que fantasear temerariamente sueños en contra de la seguridad de los experimentos, ni alejarse de la analogía de la naturaleza, toda vez que ella suele ser simple y congruente consigo misma. La extensión de los cuerpos no se nos revela si no es por los sentidos, y no se siente por todos, pero como concierne a todos los sensibles, se atribuye universalmente. Experimentamos que muchos cuerpos son duros. Pero la dureza del todo se origina de la dureza de las partes, y de aquí concluimos con razón que son duras las partículas indivisas no sólo de los cuerpos que sentimos sino también las de todos los demás. Que todos los cuerpos son impenetrables lo inferimos no dé la razón, sino de la sensación. Los cuerpos que manejamos resultan ser impenetrables, y de aquí concluimos que la impenetrabilidad es una propiedad de todos los cuerpos. Inferimos que todos los cuerpos son móviles y perseveran en reposo o en movimiento gracias a ciertas

fuerzas (que llamamos fuerzas de inercia) a partir de estas propiedades de los cuerpos observados. La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la fuerza de inercia del todo surgen de la extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad y fuerza de inercia de las partes: y de ahí concluimos que todas las partes mínimas de todos los cuerpos son extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de fuerza de inercia. Y este es el fundamento de toda la filosofía. Además, hemos visto por los fenómenos, que las partes divididas de los cuerpos y contiguas entre sí pueden separarse unas de otras y que las partes indivisas pueden dividirse con la razón en partes menores es cierto por la matemática. En cambio, si esas partes distinguidas matemáticamente, pero no divididas todavía, pudieran dividirse y separarse unas de otras mediante fuerzas naturales, es cosa incierta. Pero, aunque solamente constase por un solo experimento que una partícula indivisa sufriese una división al romper un cuerpo duro y sólido, concluiríamos, en virtud de esta regla, que no sólo serían separables las partes divididas, sino también que las indivisas podrían ser divididas hasta el infinito. Finalmente, si mediante experimentos y observaciones astronómicas consta universalmente que todos los cuerpos alrededor de la Tierra gravitan hacia ella, y esto según la cantidad de materia contenida en cada uno, que la Luna gravita hacia la Tierra según su cantidad de materia, y viceversa que nuestro mar gravita hacia la Luna, que todos los planetas gravitan mutuamente entre sí y que la gravedad de los cometas hacia el Sol es similar, habrá que decir, en virtud de esta regla, que todos los cuerpos gravitan entre sí. E incluso será más fuerte el argumento sobre la gravedad universal a partir de los fenómenos, que sobre la impenetrabilidad de los cuerpos: ya que de ésta no tenemos ninguna experiencia en los cuerpos celestes y tampoco observación alguna. Sin embargo, no afirmo en absoluto que la gravedad sea esencial a los cuerpos. Por fuerza ínsita entiendo solamente la fuerza de inercia. Esta es inmutable. La gravedad disminuye al alejarse de la Tierra.

REGLA IV

Las proposiciones obtenidas por inducción a partir de los fenómenos, pese a las hipótesis contrarias, han de ser tenidas, en filosofía experimental, por verdaderas exacta o muy aproximadamente, hasta que aparezcan otros fenómenos que las hagan más exactas o expuestas a excepciones. Debe hacerse esto para evitar que el argumento de inducción sea suprimido por las hipótesis. (Newton, 1687, pp. 463-65)

De manera más explícita puede decirse que de las reglas, la primera se le conoce como el Principio de la Parsimonia, la segunda y la tercera, Principios de Unidad y la cuarta es una creencia sin la cual no se puede usar el proceso de la lógica.

Estas Reglas, como leerán a continuación, han sido muy genialmente parafraseadas

por Arons (1970), escritas más sintéticamente, para su mejor comprensión y aprendizaje:

REGLA I

La naturaleza es esencialmente simple; por tanto, no debemos introducir más hipótesis de las que sean suficientes y necesarias para la explicación de los hechos observados. <La naturaleza no hace nada en vano, y mientras más vano sea menos servirá>. Algo muy similar escribió Galileo: <La naturaleza no hace por medio de muchas cosas, aquello que puede hacerse con pocas>.

REGLA II

Hasta donde es posible, a efectos semejantes debe asignárseles la misma causa; por ejemplo: <el descenso de piedras en Europa y en América; la reflexión de la luz en la Tierra y en los planetas>.

REGLA III

Las propiedades comunes a todos aquellos cuerpos que se encuentran dentro del alcance de nuestros experimentos van a suponerse como pertenecientes a todos los cuerpos en general; por ejemplo, extensión, movilidad, inercia, efecto gravitacional de la Tierra sobre la Luna, así como sobre una piedra.

REGLA IV

Las proposiciones en la ciencia, obtenidas por una amplia inducción van a considerarse como exacta o aproximadamente verdaderas, hasta que los fenómenos o los experimentos muestren que pueden corregirse o están sujetas a excepciones. (pp. 325-326)

En Newton (1687), se describe lo que va a tratar cada uno de los libros que componen los *Principia*. A continuación se muestra lo planteado:

En los Libros Primero y Segundo *El movimiento de los Cuerpos* (En medios resistentes), Newton tratará <... todo lo relativo a la gravedad, levedad, elasticidad, resistencia de los fluidos y fuerzas por el estilo, ya sean de atracción o de repulsión... >, que representan los principios matemáticos en filosofía, ya que <... toda la dificultad de la filosofía parece consistir en que, a partir de los fenómenos del movimiento, investiguemos las fuerzas de la naturaleza y después desde estas fuerzas demos el resto de los fenómenos>. Una vez sentados los principios matemáticos, en el Libro Tercero *El Sistema del Mundo* (En tratamiento matemático), Newton plantea la explicación del sistema del mundo, en el que <... a partir de los fenómenos celestes, por medio de proposiciones demostradas matemáticamente en los libros anteriores, se

deducen las fuerzas de la gravedad por las que los cuerpos tienden hacia el Sol y a cada uno de los planetas>”. (p. 66)

Los *Principia* terminan con un Escolio General en donde, entre otras cosas, Newton señala que “Tan elegante combinación de Sol, planetas y cometas sólo puede tener origen en la inteligencia y poder de un ente inteligente y poderoso” (Newton, 1687, p. 587)

ISAAC NEWTON Y SU CONCEPCIÓN GENERAL DE MUNDO FÍSICO

La concepción general del mundo físico que Newton tenía era la de un mundo material, compuesto de partículas duras e indestructibles, los átomos, que tenían las características de las cualidades primarias.

Además, Newton añadió una nueva cualidad primaria a los cuerpos, medible matemáticamente: la fuerza de la inercia. Aunque los átomos se interpretan de un modo matemático, en realidad, para Newton, debido al peso de su empirismo, son los elementos más pequeños de los que están compuestos los objetos sensibles. No tenemos para ello nada más que recordar parte de sus palabras en el extenso comentario que hace en los *Principia*, Libro tercero. Sobre el <SISTEMA DEL MUNDO>, al enunciar las <REGLAS PARA FILOSOFAR>, en particular en la <REGLA III>, lo cual fue escrito con antelación.

El mundo físico es, pues, un mundo material de objetos sensibles con unas cualidades que, además, pueden expresarse matemáticamente. Así lo manifiesta Newton también en la Óptica: *Opticks*, Libro III:

Tras considerar todas estas cosas, me parece muy probable que Dios haya creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el que fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualesquiera cuerpos porosos formados a partir de ellas. Tan duras, incluso, como para no gastarse ni romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo que el mismo Dios ha hecho uno en la primera creación. En tanto en cuanto las partículas permanezcan enteras, pueden formar cuerpos de una y la misma naturaleza y textura en todo momento. Sin embargo, si se gastasen o rompiesen en pedazos, la naturaleza de las cosas que de ella depende habría de cambiar. El agua o la tierra formadas de viejas partículas gastadas o de fragmentos de partículas nohabrían de presentar la misma naturaleza y textura que el agua y la tierra formada desde el principio con partículas enteras. Por consiguiente, puesto que

la naturaleza ha de ser perdurable, los cambios de las cosas corpóreas han de ser atribuidos exclusivamente a las diversas separaciones y nuevas asociaciones de los movimientos de estas partículas permanentes, al ser rompibles los cuerpos sólidos, no en el medio de dichas partículas, sino allí donde se juntan, tocándose en unos pocos puntos solamente.” (Pérez, 1998, p. 191)

PRIMERA LEY DE NEWTON. INERCIA. DESARROLLO HISTÓRICO.

De acuerdo a Contreras (2019), Demócrito, Aristóteles, Filópono, Buridan, Huygens, Descartes, Benedetti y Galileo, trabajaron y dieron sus ideas sobre la ley de la inercia, enunciada finalmente por Newton.

Quien estuvo más cerca de enunciarla correctamente, antes de Newton, fue Galileo en sus trabajos con los planos inclinados, Galileo llega a definir la ley de la inercia de la siguiente manera:

Es necesario considerar, además, que el grado de velocidad cualquiera que sea el que se dé en el móvil, está por su propia naturaleza indeleblemente impreso en él, con tal que se eliminen todas las causas externas de aceleración o retardación, lo que sólo acontece en el plano horizontal; porque en los planos en declive descendente ya existe una causa de mayor aceleración, y en los en rampa ascendente de retardación; de donde se sigue que el movimiento en el plano horizontal es también eterno, porque si es uniforme no se debilita ni disminuye ni mucho menos se extingue. (citado por Contreras, et.al.2019, pp. 51-53)

Cuando se lee este enunciado de Galileo, no se nota ningún error y, sin embargo, no se considera como la ley de la inercia. La explicación está dada en el hecho de que para Galileo, el plano utilizado en los experimentos, al verse desde el centro de la Tierra, es parte del círculo que la circunscribe y el círculo, para Galileo era la figura geométrica más perfecta antes los ojos de Dios. Debido a ello llega a considerar que los planetas tienen que moverse alrededor del Sol en forma circular y declara que lo hacen por inercia. De forma general, para Galileo, la inercia se cumple para cuerpos que se mueven de manera circular. ¡Ahí está el error de Galileo!

Pero esta definición no es el único antecedente a la ley enunciada por Newton, existen otras definiciones que se muestran a continuación:

René Descartes (1596-1650): Cada uno de los cuerpos permanece en el mismo estado hasta donde es posible y cambia su estado solamente por impacto con otros cuerpos. Cada cuerpo tiende a continuar su movimiento en línea recta, no una curva, y todo movimiento curvilíneo es movimiento bajo alguna constricción.

Cristian Huygens (1629-1695): Un cuerpo en movimiento tiende a moverse en línea recta con la misma velocidad en tanto no encuentre un obstáculo. (citado por Contreras, et.al.2019, pp. 51-53)

Y Newton, originalmente la enuncio de la siguiente manera:

Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él, la cual puede ser encontrada en los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural (1687), después de la definición IV donde plantea que: Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta. (citado por Contreras, et.al.2019, pp. 51-53)

Aunque la ley de la inercia parezca algo trivial, no lo es del todo. En el libro escrito por Albert Einstein y Leopold Infeld titulado: *La física, aventura del pensamiento: el desarrollo de las ideas desde los primeros conceptos hasta la cuantificación*, se puede leer que:

...la Ley de la Inercia no puede inferirse directamente de la experiencia, sino mediante una especulación del pensamiento, coherente con lo observado. El experimento ideal no podrá jamás realizarse, a pesar de que nos conduce a un entendimiento profundo de las experiencias reales. (Einstein y Infeld, 1961, p-7)

En el libro los *<Principia>*, Newton, sobre la inercia, dice:

Ley primera, "Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él" (Newton, 1687, p. 94).

Y entonces agrega:

Los proyectiles perseveran en sus movimientos a no ser en cuanto son retardados por la resistencia del aire y son empujados hacia abajo por la gravedad. Una rueda, cuyas partes en cohesión continuamente se retraen de los movimientos rectilíneos, no cesare de dar vueltas sino en tanto en que el aire la frena. Los cuerpos más grandes de los cometas y de los planetas conservan por más tiempo sus movimientos, tanto de avance como de rotación, realizados en espacios menos resistentes. (Newton, 1687, p. 94)

Antes de llegar a enunciar la Ley I o Ley de la Inercia escribe la Definición IV: "Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta" (Newton, 1687, p. 85).

Y entonces agrega:

Consiste esta fuerza en la sola acción y no permanece en el cuerpo después de

ella, pues el cuerpo permanece en el nuevo estado únicamente por inercia. La fuerza impresa tiene diferentes orígenes, tales como un golpe, una presión, la fuerza centrípeta. (Newton, 1687, p. 85)

Dentro de las acciones que desvían a los cuerpos está, escribe Newton, “aquella fuerza, sea lo que sea, por medio de la cual los planetas son continuamente sacados de movimientos rectilíneos, que de otra forma seguirían, y puestos a girar en órbitas curvilíneas” (Newton, 1687, p. 86).

LEY DE LA INERCIA Y LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

La primera ley de Newton, también conocida como el principio de inercia o ley de la inercia, establece que todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él.

Para aplicar la lógica formal a esta ley, podemos descomponerla en varios componentes lógicos:

1. Definiciones:

- **Inercia:** “La tendencia de un cuerpo a permanecer en reposo o en un movimiento lineal uniforme” (Resnick, et al. 2002, p.89). “Considérese un cuerpo sobre el cual no actúe alguna fuerza neta. Si el cuerpo está en reposo, permanecerá en reposo. Si el cuerpo está moviéndose a velocidad constante, continuará haciéndolo así” (Resnick, et al. 2002, p.89).
- **Fuerza neta:** La suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- **Equilibrio:** Un cuerpo permanece en equilibrio si la fuerza neta sobre él es de cero Newton ($F_{net} = 0N$).
- **Fuerza externa:** “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede decirse que la fuerza es un agente capaz de alterar el estado de movimiento.

2. Suposiciones:

- Un cuerpo tiene una masa que es constante.
- Fuerza neta es la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo o, la fuerza neta es el resultado de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- Si la fuerza neta es cero, no hay cambio en el estado de movimiento del objeto [reposo o movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante)]. En la primera ley no existe una distinción entre un cuerpo en reposo y uno que se mueva con movimiento rectilíneo

uniforme (velocidad constante). Ambos movimientos son “naturales” si la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es cero

3. Proposición lógica:

- Si $F_{\text{net}} = 0 \text{ N}$ (es decir, no hay fuerza neta actuando sobre el cuerpo), entonces:
- El objeto permanecerá en reposo si estaba en reposo.
- El cuerpo continuará moviéndose con movimiento rectilíneo uniforme [velocidad constante (mismo valor y dirección)] si estaba en movimiento

4. Condiciones:

• **Condición 1:** Si un cuerpo está en reposo $v_{\text{inicial}} = 0 \text{ m/s}$, y $F_{\text{net}} = 0 \text{ N}$, entonces $v_{\text{(final)}} = 0 \text{ m/s}$

• **Condición 2:** Si un cuerpo está en movimiento rectilíneo uniforme con velocidad $v_{\text{(inicial)}}$ y $F_{\text{net}} = 0 \text{ N}$, entonces

$v_{\text{(final)}} = v_{\text{(inicial)}}$ (el cuerpo mantiene su velocidad constante, cualesquiera que sea el valor de tiempo, durante todo el trayecto).

Conclusiones:

- La primera ley de Newton establece que el estado de movimiento [reposo o movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante)] de un cuerpo se mantiene a menos que se le aplique una fuerza neta diferente de cero. Considérese un cuerpo sobre el cual no actúe alguna fuerza neta. Si el cuerpo está en reposo, permanecerá en reposo. Si el cuerpo está con movimiento rectilíneo uniforme (moviéndose a velocidad constante), continuará haciéndolo así
- Si no hay fuerzas externas actuando sobre un cuerpo o las mismas están compensadas ($F_{\text{net}} = 0 \text{ N}$), su estado de movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante) o de reposo, no cambiará.
- Pueden existir fuerzas externas actuando sobre un cuerpo y su estado de movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante) o de reposo no cambiará, siempre y cuando éstas estén compensadas.

Se aclara que es difícil hallar una situación en la cual ninguna fuerza externa actúe sobre un cuerpo. La fuerza de la gravedad actuará sobre un cuerpo en o cerca de la Tierra, y fuerzas resistivas tales como la fricción o la resistencia del aire se oponen al movimiento en el suelo o en el aire. Afortunadamente, no necesitamos ir al vacío del espacio distante para estudiar el movimiento libre de una fuerza externa porque, al menos en lo que concierne al movimiento de traslación total de un cuerpo, no hay distinción entre un cuerpo sobre el cual no actúe una fuerza externa y un cuerpo sobre el cual la suma o resultante de todas las fuerzas externas sea cero. Usualmente nos referimos a la resultante de todas las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo como la fuerza “neta”. Por ejemplo, el empuje

de nuestra mano sobre el bloque al deslizarse puede ejercer una fuerza que contrarreste a la fuerza de fricción que actúa sobre el bloque, y una fuerza hacia arriba del plano horizontal contrarrestaría a la fuerza de la gravedad. La fuerza neta sobre el bloque puede entonces ser cero, y el bloque puede moverse a velocidad constante. (Resnick, et al. 2002, p.89)

5. Ejemplo:

- Consideremos un libro sobre una mesa. Si no hay fuerzas externas actuando sobre el libro (por ejemplo, alguien empujándolo) o las mismas están compensadas ($F_{net} = 0 N$), el libro permanecerá en reposo. Esto se puede expresar como:

- $F_{net} = 0 N \Rightarrow v_{(inicial)} = v_{(final)} = 0 m/s$ (el libro no se mueve).

- Ahora consideremos un coche que se mueve a una velocidad constante de 16 m/s en línea recta. Si no hay fuerzas externas (por ejemplo la fricción) actuando sobre él o las mismas están compensadas ($F_{net} = 0 N$), entonces:

- $F_{net} = 0 N \Rightarrow v_{(inicial)} = v_{(final)} = 16 m/s$

Al aplicar la lógica formal a la primera ley de Newton, podemos deducir y prever el comportamiento de los cuerpos en ausencia de fuerzas externas o que las mismas estén compensadas ($F_{net} = 0N$), destacando la importancia del concepto de inercia en la física.

LEY DE LA INERCIA. LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

La primera ley de Newton, también conocida como la ley de la inercia, establece que todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él. Para aplicar cuantificadores y proposiciones a esta ley, podemos formalizar su contenido utilizando el lenguaje de la lógica formal.

Proposiciones

Primero, definamos algunas proposiciones relevantes:

- Sea P : "Un cuerpo está en reposo."
- Sea Q : "Un cuerpo está en movimiento con velocidad constante."
- Sea F : "Hay una fuerza neta externa actuando sobre el cuerpo."

Cuantificadores

Ahora podemos utilizar cuantificadores para hacer afirmaciones más generales sobre todos los cuerpos o situaciones. Los cuantificadores más comunes son:

- \forall (para todo)

- \exists (*existe*)

Formalización de la Primera Ley de Newton

Podemos expresar la primera ley de Newton utilizando proposiciones y cuantificadores de la siguiente manera:

Al aplicar cuantificadores y proposiciones a la primera ley de Newton, podemos formalizar su contenido y hacer afirmaciones generales sobre el comportamiento de los cuerpos bajo la influencia de fuerzas. Esta formalización permite un análisis más riguroso y lógico del principio de inercia, ayudando a comprender cómo

Enunciado de la ley:

La primera ley de Newton, también conocida como el principio de inercia o ley de la inercia, establece que todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él.

2. Formalización:

$$\forall x [(P(x) \vee Q(x)) \Rightarrow \neg F(x)]$$

Donde:

- x representa un cuerpo.
- $P(x)$ es verdadero si el cuerpo x está en reposo.
- $Q(x)$ es verdadero si el cuerpo x se mueve con velocidad constante.
- $F(x)$ es verdadero si hay una fuerza neta externa actuando sobre el cuerpo x .
- $\neg F(x)$ significa que no hay fuerza neta actuando sobre el cuerpo x .

Interpretación

La expresión que hemos formulado puede interpretarse así:

- Para todo cuerpo x , si x está en reposo o se mueve con velocidad constante ($P(x) \vee Q(x)$), entonces no hay fuerza neta actuando sobre x ($\neg F(x)$).

Ejemplo

Supongamos que tenemos un cuerpo que está en reposo (por ejemplo, una caja en el suelo). Según la primera ley de Newton:

- Si $P(\text{caja}) = \text{verdadero}$, entonces $F(\text{caja}) = \text{falso}$

Ahora, consideremos un cuerpo que se mueve con velocidad constante (por ejemplo, un coche en una carretera recta sin fricción):

- Si $Q(\text{coche}) = \text{verdadero}$, entonces $F(\text{coche}) = \text{falso}$

Conclusión

Se aplica a diferentes situaciones físicas.

LEY DE LA INERCIA DESDE LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La primera ley de Newton, también conocida como la ley de la inercia, establece que todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, si no es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él.

. Para explicar esta ley, podemos utilizar conceptos, juicios y razonamientos:

Conceptos Clave

- **Inercia:** “La tendencia de un cuerpo a permanecer en reposo o en un movimiento lineal uniforme” (Resnick, et al. 2002, p.89). “Considérese un cuerpo sobre el cual no actúe alguna fuerza neta. Si el cuerpo está en reposo, permanecerá en reposo. Si el cuerpo está moviéndose a velocidad constante, continuará haciéndolo así” (Resnick, et al. 2002, p.89).
- **Fuerza neta:** La suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- **Equilibrio:** Un cuerpo permanece en equilibrio si la fuerza neta sobre él es cero.
- **Fuerza externa:** “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede ser un agente capaz de alterar el estado de movimiento de un cuerpo.
- **Estado de Movimiento:** Se refiere a la velocidad o a la variación de la misma y a la posición o dirección en que se encuentra o mueve un cuerpo. Estado de reposo, estado de movimiento acelerado o estado de movimiento rectilíneo uniforme con velocidad constante. Para el caso del cumplimiento de la ley de la inercia los estados de reposo y de movimiento rectilíneo uniforme con velocidad constante.

Juicios

1. Observación de la Naturaleza: En nuestra vida cotidiana, observamos que los cuerpos tienden a permanecer en su estado actual a menos que algo los empuje o tire de ellos. Por ejemplo, una pelota en el suelo no se moverá a menos que alguien la pateé.

2. Experimentos Simples: Si realizamos un experimento donde deslizamos un libro sobre una mesa, notaremos que eventualmente se detiene. Esto se debe a la fricción, una fuerza externa que actúa sobre el libro. Si no hubiera fricción, el libro continuaría deslizándose indefinidamente.

Razonamientos

1. Razonamiento sobre la Fuerza: Si consideramos un cuerpo en movimiento, como un coche en una carretera plana y sin obstáculos, este coche seguirá moviéndose a una

velocidad constante si no hay fuerzas que alteren su movimiento (como frenos o colisiones). Esto demuestra que la ausencia de una fuerza neta permite que el cuerpo mantenga su estado de movimiento.

2. Aplicación a Situaciones Cotidianas: Imagina que estás en un autobús que frena bruscamente. Tu cuerpo tiende a seguir moviéndose hacia adelante debido a la inercia; si no te sujetas, podrías caer hacia adelante. Este fenómeno ilustra cómo la inercia afecta nuestro movimiento y cómo las fuerzas externas (en este caso, el freno del autobús) son necesarias para cambiar ese estado.

Conclusión

La primera ley de Newton nos ayuda a comprender cómo y por qué los cuerpos se mueven (o no se mueven) en nuestro entorno. Al observar la naturaleza y realizar experimentos, podemos ver claramente que sin fuerzas externas o que las mismas estén compensadas ($F_{net} = 0N$), los cuerpos mantendrán su estado de movimiento rectilíneo uniforme o de reposo, lo cual es fundamental para entender conceptos más complejos en física.

LEY DE LA FUERZA. DESARROLLO HISTÓRICO

La expresión de $F = ma$, no fue escrita por Newton, ya que él no estableció la segunda ley en términos de fuerza, masa y aceleración, sino en función de otras magnitudes como el impulso y la cantidad de movimiento. La expresión $F = ma$, fue introducida durante el siglo XVIII por el matemático MacLaurin (1698-1746) y por los Bernoulli (J. 1667-1748 y D.1700-1782) y L. Euler (1707-1783), a la cual llegaron partiendo de procedimientos matemáticos llamados integración y derivación, aplicados a la ecuación original de la segunda ley escrita por Newton". (citado por Contreras, 2019, pp. 56-57)

Respecto a la segunda ley, Newton declara que: "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motora aplicada; y es hecho en la dirección de la línea recta en la cual la fuerza es aplicada" (Newton, 1687, p. 94).

A lo que agrega:

Si una fuerza cualquiera produce un movimiento dado, doblada producirá el doble y triplicada el triple, tanto si se aplica de una sola vez como si se aplica gradual y sucesivamente. Este movimiento (dado que se determina siempre en la misma dirección que la fuerza motriz) si el cuerpo se movía antes, o bien se añade sumándose a él, o se resta si es contrario, o se añade oblicuamente, si es oblicuo, y se compone con él según ambas determinaciones. (Newton, 1687, p. 94)

En una definición VIII anterior dice: "La cantidad de movimiento de una...fuerza es la medida de la misma, proporcional al movimiento que genera en un tiempo dado". (Arons,

1970, p. 391)

De acuerdo a Arons (1970),

Newton imaginaba repetidos golpes fuertes sobre un cuerpo, causando así cambios en el movimiento o variaciones en la cantidad de movimiento del referido cuerpo. En un caso de continuo, Newton imagina que los golpes vienen cada vez más juntos produciendo variaciones de la cantidad de movimiento más pequeñas y de ahí trabaja con el límite aritmético-geométrico y su cálculo. (Arons, 1970, p. 391)

Lo que se lee a continuación es un ejemplo de lo planteado con anterioridad.

“Cuando un cuerpo está cayendo, la fuerza uniforme de su gravedad que actúa igualmente, imprime, en iguales intervalos de tiempo, fuerzas iguales sobre ese cuerpo, y, por tanto, genera toda una velocidad proporcional al tiempo” (Arons, 1970, p. 391).

Cuando Newton habla de fuerza motora, se refiere al impulso neto. Al paso del tiempo, entonces Newton comienza a referirse al término fuerza como hoy es utilizado. Durante el siglo XVIII el matemático McLaurin, Johann Bernoulli, Daniel Bernoulli y Leonhard Euler, llegaron a que $F_{\text{neto}} = ma$, como un sistema de ecuaciones diferenciales. (Arons, 1970. p. 391)

En su libro los Principia, Newton escribe sobre la aplicación de dos fuerzas sobre un cuerpo y el movimiento de éste como resultado de dichas aplicaciones:

Si un cuerpo, en un tiempo dado, con la sola fuerza M impresa en el punto A es transportado con movimiento uniforme de A a B y con la sola fuerza N impresa en el mismo punto es transportado de A a C , complétese el paralelogramo $ABDC$ y con ambas fuerzas el cuerpo será transportado en el mismo tiempo en diagonal de A a D . (Newton, 1687, p. 95)

LEY DE LA FUERZA.

LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

La segunda ley de Newton establece que: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motora aplicada; y es hecho en la dirección de la línea recta en la cual la fuerza es aplicada” (Newton, 1687, p. 94)

También puede expresarse como: La segunda ley de Newton establece que la fuerza neta (F) que actúa sobre un cuerpo es igual al producto de su masa (m) y su aceleración (a). Matemáticamente, se expresa como:

$$F = ma$$

Para aplicar la lógica formal a esta ley, podemos descomponerla en varios componentes lógicos:

1. Definiciones:

- **Fuerza (F):** “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede ser un agente capaz de alterar el estado de movimiento de un cuerpo.
- **Masa (m):** Propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a un cambio en su movimiento (Resnick, et al. 2002, p.91).
- **Aceleración (a):** La razón de cambio de la velocidad con el tiempo (Resnick, et al. 2002, p.23).

2. Suposiciones:

- La masa del cuerpo es constante.
- La fuerza neta es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
- La aceleración del cuerpo es, en magnitud, directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre él en dirección paralela a esta fuerza. Vemos también que la aceleración, para una fuerza dada, es inversamente proporcional a la masa del cuerpo (Resnick, et al. 2002, p.92).

3. Proposición lógica:

- Si F es la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo, entonces existe una relación directa entre F , m , y a tal que:
- F está presente si y solo si a es diferente de cero (es decir, hay un cambio en el movimiento).
- $a = F/m$ implica que si F aumenta y m permanece constante, entonces a aumenta.

4. Conclusiones:

- Si se aplica una fuerza neta a un cuerpo con masa constante, entonces el cuerpo experimentará una aceleración.
- Si no hay fuerza neta actuando sobre el cuerpo ($F_{net} = 0N$), entonces la aceleración será cero ($a = 0m/s^2$), lo que significa que el cuerpo permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.

Obsérvese que la primera ley del movimiento parece estar contenida en la segunda ley como un caso especial, ya que si $F_{net} = 0N$, entonces $a = 0m/s^2$. En otras palabras, si la fuerza resultante sobre un cuerpo es cero, la aceleración del cuerpo es cero y el cuerpo se mueve a velocidad constante, como nos dice la primera ley. Sin embargo, la primera ley tiene un papel independiente e importante para definir marcos de referencia inerciales. Sin esa definición, no nos sería posible elegir los marcos de referencia a los cuales aplicar la segunda ley. Por lo

tanto, necesitamos ambas leyes para un sistema de mecánica completo. (Resnick, et al. 2002, p.92)

5. Ejemplo:

- Supongamos que tenemos un cuerpo con una masa de 2 kg y se le aplica una fuerza neta de 10 N . Según la segunda ley de Newton:

- $a = F/m = (10\text{ N})/(2\text{ kg}) = 5\text{ m/s}^2$

- Esto significa que el cuerpo experimentará una aceleración de 5 m/s^2 en la dirección de la fuerza aplicada.

Al aplicar la lógica formal a la segunda ley de Newton, podemos deducir y prever el comportamiento de los cuerpos bajo diferentes condiciones de fuerza y masa.

LEY DE LA FUERZA.

LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

La segunda ley de Newton establece que: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motora aplicada; y es hecho en la dirección de la línea recta en la cual la fuerza es aplicada” (Newton, 1687, p. 94)

También puede expresarse como: La segunda ley de Newton establece que la fuerza neta (F) que actúa sobre un cuerpo es igual al producto de su masa (m) y su aceleración (a). Matemáticamente, se expresa como:

$$F = m \cdot a$$

donde:

F es la fuerza neta aplicada (en Newtons),

m es la masa del objeto (en kilogramos),

a es la aceleración del objeto (en metros por segundo al cuadrado)

Para aplicar cuantificadores y proposiciones a esta ley, podemos descomponerla en términos lógicos:

1. Definiciones

- **Fuerza neta (F_{net}):** La suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

- **Fuerza (F):** “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede ser un agente capaz de alterar el estado de movimiento de un cuerpo.

- **Masa (m):** Propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a un cambio en su movimiento (Resnick, et al. 2002, p.91).

• **Aceleración (a):** La razón de cambio de la velocidad con el tiempo (Resnick, et al. 2002, p.23).

2. Cuantificadores

Usaremos dos tipos de cuantificadores:

- **Cuantificador universal (\forall):** "Para todo" o "para cada".
- **Cuantificador existencial (\exists):** "Existe" o "hay al menos uno".

3. Proposición lógica

Podemos expresar la segunda ley de Newton utilizando cuantificadores de la siguiente manera:

1. Proposición general:

• Para cada cuerpo x con masa $m(x) > 0$, si se aplica una fuerza neta $F(x)$, entonces existe una aceleración $a(x)$ tal que:

$$F(x) = m(x) \cdot a(x)$$

Esto se puede escribir formalmente como:

$$\forall x (m(x) > 0 \Rightarrow (F(x) = m(x) \cdot a(x)))$$

2. Proposición existencial:

• Para cada cuerpo x , si se aplica una fuerza neta $F(x)$, entonces existe una aceleración $a(x)$:

$$\forall x (F(x) > 0 \Rightarrow \exists a(x)(F(x) = m(x) \cdot a(x)))$$

4. Interpretación

- La primera proposición asegura que para cualquier cuerpo con masa mayor que cero, se puede establecer una relación entre la fuerza neta aplicada y la aceleración resultante.
- La segunda proposición indica que, si hay una fuerza neta actuando sobre un cuerpo, necesariamente habrá una aceleración resultante.

5. Ejemplo

Supongamos que tenemos un coche con una masa de 1000 kg y se le aplica una fuerza neta de 2000 N . Usando la segunda ley de Newton:

1. Identificamos el cuerpo: $x = \text{coche}$.
2. La masa es $m(\text{coche}) = 1000 \text{ kg} > 0$.
3. La fuerza neta es $F(\text{coche}) = 2000 \text{ N} > 0$.
4. Aplicamos la ley:
 - Calculamos la aceleración:

$$A(\text{coche}) = F(\text{coche}) / m(\text{coche}) = 2000\text{N} / 1000\text{kg} = 2\text{m/s}^2$$

Conclusión

Al aplicar cuantificadores y proposiciones a la segunda ley de Newton, podemos formalizar su significado y establecer relaciones lógicas claras que describen cómo las fuerzas afectan el movimiento de los cuerpos. Esto no solo ayuda en la comprensión teórica, sino que también permite hacer predicciones precisas en situaciones prácticas.

LEY DE LA FUERZA DESDE LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La segunda ley de Newton establece que: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motora aplicada; y es hecho en la dirección de la línea recta en la cual la fuerza es aplicada” (Newton, 1687, p. 94)

También puede expresarse como: La segunda ley de Newton establece que la fuerza neta (F) que actúa sobre un cuerpo es igual al producto de su masa (m) y su aceleración (a). Matemáticamente, se expresa como:

$$F = m \cdot a$$

F es la fuerza neta (en newtons).

m es la masa del cuerpo (en kilogramos).

a es la aceleración del cuerpo (en metros por segundo al cuadrado).

Conceptos

- **Fuerza neta (F):** La suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- **Fuerza (F):** “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede ser un agente capaz de alterar el estado de movimiento de un cuerpo.
- **Masa (m):** Propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a un cambio en su movimiento (Resnick, et al. 2002, p.91).
- **Aceleración (a):** La razón de cambio de la velocidad con el tiempo (Resnick, et al. 2002, p.23).

Juicios

1. Cuando aplicamos más fuerza a un cuerpo, la aceleración aumenta, siempre que la masa sea constante.
2. Si el cuerpo es más masivo (mayor masa), se necesita más fuerza para lograr la misma aceleración.
3. La relación entre fuerza y aceleración es proporcional: si duplicamos la fuerza, también se duplica la aceleración.

Razonamientos

1. Situación 1: Si empujas un carrito vacío, es fácil hacerlo acelerar (se mueve rápidamente) porque su masa es pequeña. Esto implica que con poca fuerza puedes generar una aceleración notable.

2. Situación 2: Si llenas el carrito con muchas cajas, necesitarás aplicar más fuerza para que acelere al mismo ritmo que cuando estaba vacío, ya que la masa ahora es mayor.

3. Efecto de la fuerza neta: Si aplicas la misma fuerza en dos sentidos opuestos, el cuerpo no se mueve (la fuerza neta es cero). Esto muestra que no toda fuerza genera movimiento, sino solo la fuerza neta.

Explicación práctica

Imagina un partido de fútbol: al patear un balón (de poca masa) con fuerza, este acelera rápidamente. Si intentas patear una pelota más pesada, como una de boliche, notarás que no acelera tanto con la misma fuerza aplicada, porque su masa es mucho mayor.

Esta ley nos permite predecir cómo se moverán los cuerpos bajo ciertas condiciones, basándonos en el equilibrio entre fuerza, masa y aceleración.

TERCERA LEY DE NEWTON. ACCIÓN-REACCIÓN. SU HISTORIA

Todos los conceptos y leyes que se han trabajado hasta aquí han tenido una historia previa de desarrollo y discusión. Sin embargo, los historiadores no pueden encontrar precedentes para la tercera ley, ni existe indicación explícita de la misma en ninguno de los propios escritos de Newton antes de los *Principia*. En este libro, él escribe: LEY III: “Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos” (Newton, 1687, pp. 94-95).

A lo que continúa:

El que empuja o atrae a otro es empujado o atraído por el otro en la misma medida. Si alguien oprime una piedra con el dedo, también su dedo es oprimido por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada con una soga, el caballo es retroarrastrado (por así decirlo) igualmente, pues la soga estirada en ambos sentidos y con el propio impulso de contraerse tirará del caballo hacia la piedra y de la piedra hacia el caballo y tanto se opondrá al progreso de uno cuanto ayude al avance del otro. (Newton, 1687, pp. 94-95)

Sobre la Tercera Ley podemos leer que Newton, a partir de la interacción dinámica entre los cuerpos, la enuncia en los *Principia*, la que establece que: “Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos” (Newton, 1687, p. 95).

Esta ley no tiene precedentes, como si la tuvo la primera ley.

En un esolío que sigue al enunciado de las leyes se encuentra que:

El que empuja o atrae a otro es empujado o atraído por el otro en la misma medida. Si alguien oprime una piedra con el dedo, también su dedo es oprimido por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada con una soga, el caballo es retroarrastrado (por así decirlo) igualmente, pues la soga estirada en ambos sentidos y con el propio impulso de contraerse tirará del caballo hacia la piedra y de la piedra hacia el caballo y tanto se opondrá al progreso de uno cuanto ayude al avance del otro. Si un cuerpo cualquiera golpeando sobre otro cuerpo cambiara el movimiento de éste de algún modo con su propia fuerza, él mismo a la vez sufrirá el mismo cambio en su propio movimiento y en sentido contrario por la fuerza del otro cuerpo.” (Newton, 1687, p. 95).

A lo que le sigue:

En atracciones, yo demuestro brevemente el asunto en esta forma. Supongamos que un obstáculo es interpuesto para evitar el encuentro de dos cuerpos cualesquiera A y B que se atraen mutuamente: entonces si uno de los cuerpos como A, es más atraído hacia el otro cuerpo B, que el otro cuerpo B lo es hacia el primer cuerpo A, el obstáculo será más fuertemente afectado por la presión del cuerpo A que por la presión del cuerpo B, y, por tanto, no permanecerá en equilibrio: sino que presión más fuerte prevalecerá y hará que el sistema de los dos cuerpos, junto con el obstáculo, se mueva directamente hacia las partes en las cuales se encuentra B; y en los espacios libres, ir hacia el infinito con un movimiento continuamente acelerado; lo cual es absurdo y contrario a la primera ley... Hice el experimento con la piedra imantada, y el hierro. Si estos son colocados aparte en recipientes apropiados, son puestos a flotar cerca uno del otro en agua en reposo, ninguno de ellos empujará al otro; sino que, siendo igualmente atraídos, cada uno sostendrá la presión del otro y descansarán, por fin, en equilibrio. (Newton, 1687, pp. 94-95; Arons, 1970, pp-165-166)

LA TERCERA LEY DE NEWTON DESDE LA LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

Para aplicar la lógica formal a la tercera ley de Newton sin usar cuantificadores, podemos enfocarnos en las relaciones entre dos cuerpos específicos y expresar la ley en términos de proposiciones simples. Aquí te muestro cómo hacerlo:

Enunciado de la Tercera Ley de Newton

La tercera ley de Newton establece que:

- “Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos”

(Newton, 1687, p. 95).

Una versión más moderna de la tercera ley pertenece a la fuerza mutua ejercida por dos cuerpos uno sobre el otro: Cuando dos cuerpos ejercen fuerzas mutuas entre sí, las dos fuerzas son siempre de igual magnitud y de sentido opuesto. Formalmente hagamos que el cuerpo A ejerza una fuerza F_a sobre el cuerpo B; el experimento demuestra entonces que el cuerpo B ejerce una fuerza sobre el cuerpo A. (Nótese el orden de los subíndices; la fuerza se ejerce sobre el cuerpo representado por el primer subíndice por el cuerpo representado por el segundo.) En términos de una ecuación vectorial, $F_{ab} = -F_{ba}$. Es importante recordar que las fuerzas de acción y reacción siempre actúan sobre cuerpos diferentes, como nos lo indican los primeros subíndices diferentes. Si actuaran sobre el mismo cuerpo, no existiría fuerza neta sobre ese cuerpo ni movimiento acelerado. Cuando un bate de béisbol golpea a la pelota, el bate ejerce una fuerza sobre la pelota (la acción), y la pelota ejerce una fuerza igual y opuesta sobre el bate. Cuando un jugador de fútbol soccer patea la pelota, el pie ejerce una fuerza sobre la pelota (la acción), y la pelota ejerce una fuerza de reacción opuesta en el pie. Si usted trata de empujar un automóvil parado, podrá comprobar que éste ejerce presión hacia usted. En cada caso las fuerzas de acción y de reacción actúan sobre diferentes cuerpos. Si nuestro propósito consistiera en el estudio de la dinámica de un cuerpo, como la pelota de béisbol, por ejemplo, consideraríamos únicamente una fuerza del par acción reacción; en cuanto a la otra, es percibida por un cuerpo diferente y sólo se consideraría si estuviéramos estudiando la dinámica de ese cuerpo. (Resnick, et al. 2002, p.94)

Proposiciones

Podemos definir las siguientes proposiciones para representar la situación:

P: "El objeto A ejerce una fuerza sobre el objeto B."

Q: "El objeto B ejerce una fuerza sobre el objeto A."

R: "La fuerza que A ejerce sobre B es igual en magnitud a la fuerza que B ejerce sobre A."

S: "La fuerza que B ejerce sobre A es opuesta en sentido a la fuerza que A ejerce sobre B."

Expresión Lógica

Podemos expresar la relación entre estas proposiciones de la siguiente manera:

1. Si P es verdadero (es decir, A ejerce una fuerza sobre B), entonces tanto Q como R y S deben ser verdaderos. Esto se puede escribir como:

$$P \Rightarrow (Q \wedge R \wedge S)$$

Desglose de la Expresión

P: El objeto A ejerce una fuerza sobre el objeto B.

Q: El objeto B ejerce una fuerza sobre el objeto A.

R: La magnitud de la fuerza que A ejerce sobre B es igual a la magnitud de la fuerza que B ejerce sobre A.

S: El sentido de la fuerza que B ejerce sobre A es opuesta al sentido de la fuerza que A ejerce sobre B.

Ejemplo Concreto

Supongamos que un jugador de fútbol (*A*) patea una pelota (*B*):

1. **Proposición P:** "El jugador patea la pelota."
2. **Proposición Q:** "La pelota ejerce una fuerza sobre el jugador."
3. **Proposición R:** "La magnitud de la fuerza del pie del jugador sobre la pelota es igual a la magnitud de la fuerza de la pelota sobre el pie del jugador."
4. **Proposición S:** "El sentido de la fuerza de la pelota sobre el pie del jugador es opuesta al sentido de la fuerza del pie del jugador sobre la pelota."

Conclusión

En resumen, hemos expresado la tercera ley de Newton utilizando proposiciones simples y relaciones lógicas sin recurrir a cuantificadores. Esto permite entender claramente cómo se relacionan las fuerzas entre dos cuerpos específicos en cualquier interacción física.

TERCERA LEY Y LA LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

La tercera ley de Newton, también conocida como la ley de acción y reacción, establece que: "Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos" (Newton, 1687, p. 95). También se puede decir que para cada acción hay una reacción igual y opuesta. Esto significa que si un *objeto A* ejerce una fuerza sobre un *objeto B*, entonces el *objeto B* ejercerá una fuerza de igual magnitud y en sentido opuesto sobre el *objeto A*.

Proposiciones

Primero, definamos algunas proposiciones relevantes:

- *Sea A:* "El *objeto A* ejerce una fuerza sobre el *objeto B*."

- Sea B : "El objeto B ejerce una fuerza sobre el objeto A ."
- Sea $F_-(AB)$: "La fuerza que A ejerce sobre B ."
- Sea $F_-(BA)$: "La fuerza que B ejerce sobre A ."

Cuantificadores

Usaremos cuantificadores para hacer afirmaciones más generales sobre todos los pares de cuerpos. Los cuantificadores son:

- \forall (para todo)
- \exists (existe)

FORMALIZACIÓN DE LA TERCERA LEY DE NEWTON

Podemos expresar la tercera ley de Newton utilizando proposiciones y cuantificadores de la siguiente manera:

1. Enunciado de la ley:

- Si el objeto A ejerce una fuerza sobre el objeto B , entonces el objeto B ejerce una fuerza sobre el objeto A que es igual en magnitud y opuesta en sentido.

2. Formalización:

$$\forall A, B [F_-(AB) \Rightarrow (F_-(BA) = -F_-(AB))]$$

Donde:

- A y B representan cuerpos.
- $F_-(AB)$ es la fuerza que el objeto A ejerce sobre el objeto B .
- $F_-(BA)$ es la fuerza que el objeto B ejerce sobre el objeto A .
- La expresión $F(BA) = -F(AB)$ indica que la magnitud de la fuerza que B ejerce sobre A es igual a la magnitud de la fuerza que A ejerce sobre B , pero en sentido opuesto.

Interpretación

La expresión que hemos formulado puede interpretarse así:

- Para todos los objetos A y B , si A ejerce una fuerza sobre B ($F(AB)$), entonces B ejercerá una fuerza sobre A ($F(BA)$) tal que la magnitud de $F(BA)$ es igual a la magnitud de $F(AB)$, pero en sentido opuesto.

Ejemplo

Supongamos que tenemos un jugador de fútbol que patea una pelota:

- Cuando el jugador (A) patea la pelota (B), se establece que:
- $F_-(AB) =$ fuerza del pie del jugador sobre la pelota
- Según la tercera ley de Newton, la pelota ejercerá una fuerza sobre el pie del jugador:

- $F(BA) = -F(AB) = \text{fuerza de la pelota sobre el pie del jugador}$

Conclusión

Al aplicar lógica formal a la tercera ley de Newton, podemos formalizar su contenido y hacer afirmaciones generales sobre las interacciones entre pares de cuerpos. Esta formalización permite un análisis más riguroso del principio de acción y reacción, ayudando a comprender cómo se manifiestan estas fuerzas en diversas situaciones físicas.

TERCERA LEY DE NEWTON Y LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La Tercera Ley de Newton, establece que: "Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos" (Newton, 1687, p. 95). También puede decirse que: "para cada acción hay una reacción igual y opuesta", es un principio fundamental en la física que describe cómo interactúan los cuerpos. Para aplicar la teoría del conocimiento a esta ley utilizando conceptos, juicios y razonamientos, podemos seguir estos pasos:

1. Conceptos

Identificamos los conceptos clave relacionados con la Tercera Ley de Newton:

- Fuerza: "Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta" (Newton, 1687, p. 85). También puede ser un agente capaz de alterar el estado de movimiento de un cuerpo o una interacción entre un cuerpo y su entorno. "Si existe una interacción mutua neta entre el cuerpo y los objetos presentes en el entorno, el efecto puede ser un cambio en el estado "natural" del movimiento del cuerpo" (Resnick, et al. 2002, p.90).
- Acción y reacción: La idea de que las fuerzas siempre vienen en pares; una fuerza (acción) genera una fuerza de igual magnitud, pero en sentido opuesto (reacción).
- Interacción: Relación entre dos o más cuerpos que se afectan mutuamente.

2. Juicios

Formulamos juicios que expresen creencias o afirmaciones sobre la Tercera Ley de Newton:

- Juicio 1: "Cuando un *objeto A* empuja a un *objeto B*, el *objeto B* empuja al *objeto A* con la misma fuerza en sentido opuesto."
- Juicio 2: "La Tercera Ley de Newton es válida en todos los sistemas físicos, independientemente de la escala."

- Juicio 3: "Las fuerzas de acción y reacción son siempre simultáneas; no hay un tiempo en el que solo una de las fuerzas actúe."

3. Razonamientos

Utilizamos razonamientos para conectar los conceptos y juicios, y para llegar a conclusiones sobre la Tercera Ley de Newton:

- Razonamiento deductivo:
 - Premisa 1: Según la Tercera Ley de Newton, toda acción tiene una reacción igual y opuesta.
 - Premisa 2: Si un *coche* (*A*) empuja a un *remolque* (*B*) hacia adelante, entonces el *remolque* (*B*) ejerce una fuerza hacia atrás sobre el *coche* (*A*).
 - **Conclusión:** Por lo tanto, el movimiento del coche hacia adelante está acompañado por una fuerza igual hacia atrás sobre el coche por parte del remolque.
- Razonamiento inductivo:
 - Observación 1: He observado que cuando salto hacia arriba (acción), mi cuerpo es empujado hacia abajo por el suelo (reacción).
 - Observación 2: He notado que cada vez que lanzo una pelota (acción), la pelota también ejerce una fuerza sobre mi mano (reacción).
 - **Conclusión general:** A partir de estas observaciones, se puede inferir que la Tercera Ley de Newton se aplica a todas las interacciones físicas.

Aplicación práctica

Al aplicar esta teoría del conocimiento a situaciones cotidianas o experimentos, podemos observar y analizar cómo se manifiestan las fuerzas de acción y reacción:

- Ejemplo práctico: Un hombre empuja una caja que está sobre el suelo con una fuerza de acción F_{hc} y, a su vez, la caja empuja al hombre con una fuerza de reacción F_{ch} , de igual magnitud y sentido contrario. Para lograr el movimiento de la caja el hombre ejerce una fuerza sobre el suelo F_{hs} , y la fuerza de reacción del suelo sobre éste F_{sh} , lo empuja hacia adelante. "...el hombre es el agente activo responsable del movimiento, pero es la fuerza de reacción del suelo la que lo hace posible. Si no hubiese fricción entre los zapatos del hombre y el suelo, éste no podría mover la caja..." (Resnick, et al. 2002, p.90).
- Experimento simple: Usar un globo inflado y soltarlo. Al liberar el aire (acción), el globo se moverá en sentido opuesto al flujo de aire (reacción), ilustrando así la ley de acción y reacción.

Conclusión

Al aplicar la teoría del conocimiento a la Tercera Ley de Newton, podemos estructurar nuestro entendimiento a través de conceptos claros, formular juicios basados en observaciones y usar razonamientos lógicos para explorar y explicar cómo funciona esta ley en diversas situaciones. Esto no solo nos ayuda a comprender mejor la física, sino que también refuerza nuestras habilidades para pensar críticamente sobre el conocimiento científico.

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL.

DESARROLLO HISTÓRICO

¡Y cayó la Manzana! ¡Y nació la gravitación! Una de las mejores autoridades sobre esta historia es una biografía de Newton escrita por su amigo Stukely, en 1752, en donde cuenta que:

El tiempo era cálido, fuimos al jardín y tomamos té, bajo la sombra de unos manzanos, solo él y yo. Entre otras cuestiones, él me dijo que fue justamente en la misma situación cuando por vez primera se le ocurrió el concepto de la gravitación. Fue con ocasión de la caída de una manzana, cuando él estaba sentado con espíritu contemplativo. Por qué debería siempre una manzana descender perpendicularmente hacia el suelo, pensó para sí mismo. Por qué la manzana no iría hacia los lados o hacia arriba, sino constantemente hacia el centro de la Tierra. (Holton, 1989b)

Antes de Newton y, sobre la gravitación universal, Hooke publicó en 1674, 12 años antes de la aparición de los *Principia*, un libro conocido como *An Attempt to Prove the Motion of the Earth by Observations (Un Intento para Probar el Movimiento de la Tierra por Observaciones)*. En este libro se plantea correctamente el problema del movimiento planetario. Sus suposiciones eran:

En primer lugar, que todos los cuerpos celestes, tengan una atracción o poder gravitatorio hacia sus propios centros, por lo que atraen no solo sus propias partes, y evitan que salgan volando de ellas, como podemos observar que la Tierra hace, sino que también lo hacen atrayendo a todos los otros cuerpos celestes que están dentro de la esfera de su actividad... La segunda suposición es esta. Que todos los cuerpos que se pongan en un movimiento directo y simple continuarán avanzando en línea recta, hasta que estén por otros poderes efectivos desviados y doblados en un movimiento, describiendo un círculo, línea curva. La tercera suposición es que estos poderes atractivos son tanto más poderosos... cuanto más cerca está el cuerpo de sus propios centros. (Hooke, 1674, p. 13).

Con lo anterior, Hooke intuye el fenómeno gravitacional y se adelanta a Newton en cuanto a la ley de la Inercia. Pero Hooke no habla de fuerzas centrífugas y su

descripción de la fuerza de atracción solo es cualitativa.

En el libro primero de los *Principia*, Newton escribe:

PROPOSICIÓN III. TEOREMA III

Todo cuerpo que, unido por un radio al centro de otro cuerpo que se mueve de cualquier modo, describe alrededor de dicho centro áreas proporcionales a los tiempos es urgido por una fuerza compuesta de la fuerza centrípeta tendente a ese otro cuerpo y de toda la fuerza aceleratriz con la que es urgido ese otro cuerpo. (Newton, 1687, p.123)

En la PROPOSICIÓN II. TEOREMA II, enfatiza: “Las fuerzas por las cuales los planetas primarios son continuamente desviados de movimientos rectilíneos y retenidos en sus órbitas se dirigen hacia el Sol y son inversamente como los cuadrados de las distancias al centro del mismo” (Newton, 1687, p. 471).

Y, en la PROPOSICIÓN III. TEOREMA III, aclara que: “La fuerza con la cual la Luna es retenida en su órbita se dirige hacia la Tierra y es inversamente como el cuadrado de la distancia de los lugares al centro de la Tierra” (Newton. I, 1687, p. 471).

A lo que posteriormente sigue con la PROPOSICIÓN IV. TEOREMA IV: “La Luna gravita hacia la Tierra y es continuamente desviada del movimiento rectilíneo y retenida en su órbita por la fuerza de la gravedad”. (Newton, 1687, p. 472).

Luego generaliza el fenómeno dado entre la Tierra y la Luna en la PROPOSICIÓN V. TEOREMA V:

Los planetas circunjoviales gravitan hacia Júpiter, los circunsaturnales hacia Saturno, y los circunsolares hacia el Sol, y por la fuerza de su gravedad son continuamente desviados de movimientos rectilíneos y retenidos en órbitas curvilíneas. Pues las revoluciones de los planetas circunjoviales en torno a Júpiter, de los circunsaturnales en torno a Saturno, y de Mercurio, Venus y el resto de los circunsolares en torno al Sol son fenómenos del mismo género que la revolución de la Luna en torno a la Tierra; y por ello (por la Regla II) dependen de causas del mismo género: sobre todo si se ha demostrado que las fuerzas, de las cuales dependen dichas revoluciones, se dirigen hacia los centros de Júpiter, Saturno y el Sol, y al apartarse de Júpiter, Saturno y el Sol decrecen con la misma ley y proporción con la que la fuerza de la gravedad decrece al alejarse de la Tierra”. (Newton, 1687, pp. 474-476)

Y en el COROLARIO 1, destaca que:

Luego la gravedad se da en todos los planetas. Pues nadie duda de que Venus, Mercurio y los demás planetas sean cuerpos del mismo género que Júpiter y Saturno. Y puesto que por la Tercera Ley del movimiento toda atracción es mutua, Júpiter gravitará hacia todos sus satélites, Saturno hacia los suyos, la Tierra hacia

la Luna, y el Sol hacia todos los planetas primarios. (Newton, 1687, pp. 474-476)

Mientras dice en el COROLARIO 2: “La gravedad que se dirige hacia cada planeta es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias de los lugares al centro del planeta” (Newton, 1687, pp. 474-476)

A lo que le sigue el COROLARIO 3:

Todos los planetas gravitan entre sí, por los Corolarios 1 y 2. Y de aquí que Júpiter y Saturno en la proximidad de su conjunción, atrayéndose mutuamente, perturben sus movimientos sensiblemente, el Sol perturbe los movimientos lunares, el Sol y la Luna perturben nuestros mares, como se explicará más adelante. (Newton, 1687, pp. 474-476)

En el ESCOLIO entonces explica:

Hemos llamado hasta aquí centrípeta a la fuerza por la que los cuerpos celestes son retenidos en sus órbitas. Ahora ya consta que es la gravedad, y por ello la llamaremos en lo sucesivo gravedad. Pues la causa de aquella fuerza centrípeta por la que la Luna es retenida en órbita debe ser extendida a todos los planetas por las Reglas I, II y IV. (Newton, 1687, pp. 474-476).

Para escribir en el COROLARIO 5 que dice:

La fuerza de la gravedad es de distinta naturaleza que la fuerza magnética. Pues la atracción magnética no es como la materia atraída. Unos cuerpos son más atraídos, otros menos, muchos no lo son. Y la fuerza magnética en uno y el mismo cuerpo pueden aumentar y disminuir y es bastante mayor a veces respecto a la cantidad de materia que la fuerza de la gravedad, y al alejarse del imán decrece en una razón de la distancia no cuadrada sino casi cúbica, en cuanto he podido comprobar con algunos experimentos un tanto rudimentarios. (Newton, 1687, pp. 474-476)

Para concluir en la PROPOSICIÓN VII. TEOREMA VII que:

La gravedad ocurre en todos los cuerpos y es proporcional a la cantidad de materia existente en cada uno. Hemos probado ya que todos los planetas gravitan entre sí, y también que la gravedad hacia cada uno de ellos considerado individualmente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde cada lugar al centro del planeta. De lo cual se sigue que...la gravedad hacia todos es proporcional a la materia existente en ellos”. (Newton, 1687, p. 478).

Al final del <Libro Tercero> de los <Principia>, escribe:

Hasta aquí he expuesto los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de la gravedad, pero todavía no he asignado causa a la gravedad. Efectivamente esta fuerza surge de alguna causa que penetra hasta los centros

del Sol y de los planetas sin disminución de la fuerza; y la cual actúa, no según la cantidad de las superficies de las partículas hacia las cuales actúa (como suelen hacer las causas mecánicas) sino según la cantidad de materia sólida; y cuya acción se extiende por todas partes hasta distancias inmensas, decreciendo siempre como el cuadrado de las distancias. La gravedad hacia el Sol se compone de las gravedades hacia cada una de las partículas del Sol, y separándose del Sol decrece exactamente en razón del cuadrado de las distancias hasta más allá de la órbita de Saturno, como se evidencia por el reposo de los afelios de los planetas, y hasta los últimos afelios de los cometas, si semejantes afelios están en reposo. Pero no he podido todavía deducir a partir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis. Pues, lo que no se deduce de los fenómenos, ha de ser llamado Hipótesis; y las hipótesis, bien metafísicas, bien físicas, o de cualidades ocultas, o mecánicas, no tienen lugar dentro de la Filosofía experimental. En esta filosofía las proposiciones se deducen de los fenómenos, y se convierten en generales por inducción. Así, la impenetrabilidad, la movilidad, el ímpetu de los cuerpos y las leyes de los movimientos y de la gravedad, llegaron a ser esclarecidas. Y bastante es que la gravedad exista de hecho y actúe según las leyes expuestas por nosotros y sea suficiente para todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar". (Newton, 1687, p. 588).

Y luego Newton agrega:

Bien podríamos ahora añadir algo de cierto espíritu sutilísimo que atraviesa todos los cuerpos gruesos y permanece latente en ellos; por cuya fuerza y acciones las partículas de los cuerpos se atraen entre ellas a las mínimas distancias y una vez que están contiguas permanecen unidas; y los cuerpos eléctricos actúan a distancias mayores, tanto repeliendo como atrayendo a los corpúsculos vecinos; y la luz se emite, se refleja, se refracta e inflexiona y calienta a los cuerpos; y toda sensación es excitada, y los miembros de los animales se mueven a voluntad, a saber mediante las vibraciones de ese espíritu propagadas por los filamentos sólidos de los nervios desde los órganos externos de los sentidos hasta el cerebro y desde el cerebro hacia los músculos. Pero esto no puede exponerse en pocas palabras; y tampoco está disponible un número suficiente de experimentos mediante los cuales deben determinarse y mostrarse exactamente las leyes de las acciones de este espíritu." (Newton, 1687, p. 588).

También sobre la gravedad y sus causas, Newton, en su libro *Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures*, que traducido al español es: *Óptica: o, un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. También Dos tratados de la especie y la magnitud de las figuras curvilíneas*, publicado en 1704,

muestra su desacuerdo con la invención de algún medio o principio sin fundamentación científica:

...Y los aristotelianos dieron el nombre de cualidades ocultas no para manifestar cualidades, sino solamente a aquellas cualidades que ellos suponían que se encontraban escondidas en los cuerpos y que eran causas desconocidas de efectos manifiestos. Tal como serían las causas de la gravedad, y de las atracciones eléctricasy magnéticas, y de las fermentaciones, si supusiéramos que las fuerzas o acciones se originan de cualidades desconocidas a nosotros e incapaces de ser descubiertas y hacerse manifiestas, Tales cualidades ocultas ponen una barrera a la mejora de la filosofía natural, y por tanto, a últimos años han sido rechazadas. Decirnos que toda especie de cosa está dotada con una cualidad específica oculta, por la cual actúa y produce efectos manifiestos, no es decirnos nada. Pero derivar dos o tres principios generales de movimiento a partir de los fenómenos, y después decirnos cómo las propiedades y las acciones de todas las cosas corpóreas se siguen de estos principios, sería un paso muy grande en la filosofía, aunque las causas de esos principios aún no fueran descubiertas: Y, por tanto, me abstengo de proponer los principios de movimiento antes mencionados, siendo de carácter muy general, y deo por encontrar sus causas". (cit. por Arons, 1970. pp. 353-354).

De acuerdo a Arons (1970),

Buscar el por qué un cuerpo es atraído o repelido por otro es una cuestión que en las mentes científicas siempre se trata de dar respuestas. La teoría de los vórtices de Descartes fue generalmente aceptada en los tiempos de Newton, porque daba una idea de un universo lleno de remolinos, de corpúsculos materiales cuya acción entre sí y los planetas era el simple contacto físico. Por su parte Newton tuvo que pasar el resto de su vida con un sistema menos atractivo que el presentado por Descartes y por ello refutaba una y otra vez la introducción de implicaciones metafísicas en la ley de gravitación universal. Una y otra vez Newton declaró que no era capaz ni quería <adjudicar causas naturales> a la gravitación. Al igual que sus contemporáneos creía que algún agente material sería encontrado para explicar la acción a distancia. (pp. 354-355)

La búsqueda de tal medio fue larga y los argumentos poderosos. Al final del libro III de los *Principia*, Newton expuso sus comentarios a veces mal interpretados:

Pero hasta aquí no he podido descubrir la causa de esas propiedades de la gravedad a partir de los fenómenos (observación y experimentación), y no propongo hipótesis...Para nosotros es suficiente que la gravedad realmente exista y actúe de acuerdo a las leyes que hemos explicado, y que abundantemente sirve para explicar todos los movimientos de los cuerpos

celestes y de nuestro mar. (cit. por Arons, 1970. p.353)

En *Opticks*, editada por primera vez en 1704, diecisiete años posteriores a la aparición de la primera edición de los *Principia*, y publicada en inglés, Newton da la idea de que podía existir un éter omnipresente, cuando escribe:

Opticks III. "Pregunta.18. Si en dos grandes vasos cilíndricos de vidrio invertidos, se suspenden dos pequeños termómetros que no toquen los recipientes, y el aire se extrae de uno de estos recipientes, y estos recipientes así preparados se llevan de un lugar frío a un lugar cálido; el Termómetro en el recipiente al vacío se calentará tanto, y casi tan pronto como el Termómetro que no está en el vacío. Y cuando los recipientes vuelvan al lugar frío, el termómetro al vacío crecerá frío casi tan pronto como el otro termómetro. ¿No es el calor de la cálida habitación transportado a través del vacío por las vibraciones de un medio mucho más sutil que el aire, que una vez que se extrajo el aire, permaneció en el vacío? ¿Y no es este Medio lo mismo que el Medio por el cual la Luz es refractada y reflejada, y por cuyas Vibraciones la Luz comunica Calor a los Cuerpos...? ¿Y las Vibraciones de este Medio en Cuerpos calientes no contribuyen a la intensidad y duración de su Calor? ¿Y los Cuerpos calientes no comunican su Calor a los fríos contiguos, por las Vibraciones de este Medio propagadas de ellos a los fríos? ¿Y no es este Medium excesivamente más elástico y activo? ¿Y no está presente fácilmente en todos los Cuerpos? ¿Y no es (por su fuerza elástica) expandida a través de todos los Cielos? (Arons, 1970. p.355; Newton. 1952. p. 348)

Su rechazo a proponer, en ausencia de indicios experimentales, un mecanismo por medio del cual pasara de un cuerpo a otro el efecto de la gravedad no significa que permita el error opuesto, cual es despachar la cuestión inventando un cierto principio de gravedad innato en la materia, que habría satisfecho a un erudito medieval.

Esto se pone de manifiesto en una carta que escribió al teólogo Richard Bentley cuando éste estaba preparando una conferencia popular sobre las teorías de Newton y pedía que le aclarase algunas implicaciones. Newton le dice:

Es inconcebible, que la materia bruta inanimada, sin la mediación de algo más, que no sea material, influya y afecte a otra materia sin contacto mutuo; como debe ser si la gravitación en el sentido de Epicuro (antiguo filósofo atomista griego) es esencial e inherente a la materia Y ésta es una razón por la cual yo deseaba que usted no me atribuyera la gravedad innata. Una gravedad innata, inherente y esencial a la materia, de modo que cualquier cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia, a través del vacío, sin la mediación de algo más, a través de lo cual pueda conducirse la acción y la fuerza, es para mí un absurdo tan grande que no creo exista un hombre que con facultad de pensamiento sobre materias filosóficas pueda creer en ello. La gravedad debe estar causada por un

agente que actúa constantemente según ciertas leyes, pero el hecho de que este agente sea material o inmaterial, lo dejo a la consideración de mis lectores. (Holton, 1952. p. 245)

Con el predicador Richard Bentley, mantuvo Newton una estrecha relación, al cual le dirigió varias cartas,

...sobre las verdades de las Escrituras, sus comentarios a las profecías de David, su exégesis del Apocalipsis de San Juan, donde entre otras afirmaciones anuncia el fin del poder temporal de los papas para el año 2060...En su correspondencia con Bentley Newton hace interesantes especulaciones cosmológicas acerca de la infinitud del Universo. Afirma que el Universo debe ser infinito para no colapsarse gravitacionalmente. Esta aseveración da origen posteriormente a la paradoja de Olbers. (Maza, 2016. p.7)

Resumiendo las ideas anteriores. Para Newton, todos los cuerpos del Universo se atraen unos a otros con una fuerza gravitatoria, como la que existe entre una piedra que cae y la Tierra; por consiguiente, las fuerzas centrípetas sobre los planetas no son otra cosa que una atracción gravitatoria por parte del Sol, y, de modo semejante, la fuerza centrípeta de un satélite que gira alrededor de un planeta viene dada por la atracción gravitatoria ejercida sobre él, por el planeta.

LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL Y LA LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

La ley de gravitación universal, formulada por Isaac Newton, establece que dos cuerpos se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Esta ley se puede expresar de la siguiente manera:

$$F = G (m_1 m_2)/r^2$$

donde:

- *F* es la fuerza de atracción entre los dos cuerpos,
- *G* es la constante de gravitación universal,
- *m₁* y *m₂* son las masas de los dos cuerpos,
- *r* es la distancia entre los centros de los dos cuerpos.

Para aplicar la lógica formal sin cuantificadores a esta ley, podemos seguir algunos pasos:

1. **Definición de términos:** Definimos claramente los términos involucrados en la ley. Por ejemplo, podemos definir "cuerpo" como cualquier objeto que tiene masa y "fuerza" como una acción que provoca un cambio en el movimiento de un cuerpo. "Una fuerza aplicada

es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta".

2. **Relaciones entre términos:** Establecemos relaciones lógicas entre los términos definidos. Por ejemplo, podemos afirmar que "si hay un *cuerpo A* y un *cuerpo B*, entonces existe una *fuerza F* que actúa entre ellos".

3. **Condiciones y consecuencias:** Planteamos condiciones bajo las cuales se cumple la ley. Por ejemplo:

- Si m_1 y m_2 son las masas de dos cuerpos, y r es la distancia entre ellos, entonces:

- Si $m_1 > 0$ y $m_2 > 0$, y $r > 0$, entonces $F > 0$.

4. **Ejemplos concretos:** Podemos utilizar ejemplos concretos para ilustrar la ley sin necesidad de cuantificadores. Por ejemplo:

- "La *Tierra (cuerpo A)* y la *Luna (cuerpo B)* se atraen mutuamente con una fuerza que depende de sus masas y la distancia entre ellas".

5. **Generalización:** Finalmente, podemos hacer generalizaciones basadas en observaciones. Por ejemplo:

- "Cualquier par de cuerpos masivos se atraerá con una fuerza que puede ser calculada usando la ley de gravitación universal".

Al seguir estos pasos, podemos aplicar la lógica formal a la ley de gravitación universal sin necesidad de utilizar cuantificadores, centrándonos en las relaciones lógicas y las definiciones claras de los conceptos involucrados.

LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL Y LA LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

Para aplicar la lógica formal con cuantificadores a la ley de gravitación universal, primero debemos identificar las variables y conceptos clave que intervienen en la relación entre las masas de los cuerpos, la distancia entre ellos y la fuerza de atracción gravitacional.

Definiciones

1. Variables:

- Sea m_1 y m_2 las masas de dos cuerpos.
- Sea r la distancia entre los centros de los dos cuerpos.
- Sea F la fuerza de atracción gravitacional entre los dos cuerpos.

2. Proposiciones:

• $G(m_1, m_2, r)$: "La fuerza gravitacional F entre las masas m_1 y m_2 separadas por una distancia r ."

• $P(F, m_1, m_2, r)$: "La fuerza gravitacional F es proporcional al producto de las masas m_1 y m_2 , e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r ."

La ley de gravitación universal establece que la fuerza gravitacional entre dos masas es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas:

$$F = G m_1 m_2 / r^2$$

Donde, G es la constante de gravitación universal.

Expresión Lógica con Cuantificadores

Podemos formular la ley de gravitación universal utilizando cuantificadores de la siguiente manera:

$$\forall G \in \mathbb{R}^+, \forall m_1, m_2 \in \mathbb{R}^+, \forall r \in \mathbb{R}^+ : G(m_1, m_2, r) \Rightarrow P(F, m_1, m_2, r)$$

Desglose de la Expresión

1. Cuantificadores:

- $\forall G \in \mathbb{R}^+$: Para toda constante positiva G (constante de gravitación universal).
- $\forall m_1, m_2 \in \mathbb{R}^+$: Para todas las masas m_1 y m_2 que son positivas o mayores que 0.
- $\forall r \in \mathbb{R}^+$: Para toda distancia r que es positiva.

2. Implicación:

• La expresión $G(m_1, m_2, r) \Rightarrow P(F, m_1, m_2, r)$ significa que si se consideran dos masas m_1 y m_2 separadas por una distancia r , entonces la fuerza gravitacional F es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Interpretación:

La expresión completa puede interpretarse como: "Para la constante positiva G , para cada par de masas m_1 y m_2 , y para cada distancia r , si se consideran estas masas y esta distancia, entonces la fuerza gravitacional entre ellas es igual a la constante de gravitación universal multiplicada por el producto de las masas y dividido por el cuadrado de la distancia."

Conclusión

Al utilizar cuantificadores en la lógica formal para expresar la ley de gravitación universal, hemos podido formalizar las relaciones entre las variables involucradas. Esto proporciona un marco lógico más riguroso para entender cómo se relacionan las fuerzas gravitacionales con las masas y las distancias en un sistema físico.

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL Y LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La ley de gravitación universal, formulada por Isaac Newton en el siglo XVII, establece que todos los cuerpos con masa en el universo se atraen entre sí con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Para explicar esta ley, podemos desglosarla en varios conceptos, juicios y razonamientos:

Conceptos Clave

1. Masa: Propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a un cambio en su movimiento (Resnick, et al. 2002, p.91). También es considerada como una medida de la cantidad de materia en un objeto. Cuanto mayor es la masa de un objeto, mayor es la fuerza gravitacional que ejerce.
2. Fuerza Gravitacional: Es la atracción que experimentan dos cuerpos debido a su masa. Esta fuerza es lo que mantiene a los planetas en órbita alrededor del sol y a los objetos en la superficie de la Tierra.
3. Distancia: Es la separación entre los centros de masa de dos objetos. La fuerza gravitacional disminuye rápidamente a medida que aumenta esta distancia.
4. Proporcionalidad: La relación entre las variables en la ley de gravitación universal se puede expresar matemáticamente:

$$F = G m_1 m_2 / r^2$$

donde F es la fuerza gravitacional, G es la constante de gravitación universal, m_1 y m_2 son las masas de los dos cuerpos, y r es la distancia entre ellos.

Juicios

1. Atractivo universal: Todos los objetos del universo se atraen mutuamente, no solo los grandes cuerpos como planetas o estrellas, sino también los pequeños, como una manzana cayendo al suelo.

2. Dependencia de la masa: A mayor masa, mayor es la fuerza de atracción. Por ejemplo, la Tierra tiene una masa mucho mayor que una persona, por lo que su atracción gravitacional es mucho más fuerte.

3. Efecto de la distancia: La fuerza gravitacional disminuye con el aumento de la distancia. Si duplicamos la distancia entre dos cuerpos, la fuerza gravitacional se reduce a una cuarta parte.

Razonamientos

1. Observaciones cotidianas: La caída de objetos hacia el suelo (como una manzana) puede ser entendida como resultado de la atracción gravitacional de la Tierra sobre esos objetos. Esto nos lleva a pensar que la gravedad no solo actúa en grandes escalas (como planetas y estrellas), sino también en nuestra vida diaria.

2. Órbitas planetarias: Los planetas orbitan alrededor del sol debido a la fuerza gravitacional que este ejerce sobre ellos. A medida que un planeta se aleja del sol, su velocidad orbital disminuye porque la fuerza gravitacional es menor.

3. Interacciones gravitacionales: Cuando dos cuerpos masivos están cerca, como la Tierra y la Luna, sus fuerzas gravitacionales mutuas afectan sus movimientos, lo que resulta en fenómenos como las mareas.

Conclusión

La ley de gravitación universal nos proporciona un marco para entender cómo interactúan los cuerpos masivos en el universo. A través de conceptos como masa, fuerza y distancia, junto con juicios sobre su comportamiento y razonamientos basados en observaciones, podemos apreciar no solo la belleza de esta ley física, sino también su aplicabilidad en diversas áreas de la ciencia y la vida cotidiana.

LEY DE HOOKE. EL DESARROLLO HISTÓRICO

En 1678 Robert Hooke escribió:

La teoría de los resortes, aunque intentada por diversos matemáticos eminentes de esta época, hasta ahora no ha sido publicada por ninguno. Han pasado casi dieciocho años desde que yo la encontré, pero decidiendo aplicarla a algún caso particular, omití su publicación... Tómese una cantidad de alambre de sección uniforme, ya sea de acero, hierro o latón y enrédese tal alambre sobre un cilindro formando una hélice de la longitud o número de vueltas que se desee, después fórmense lazos con los extremos, de uno de los cuales debe suspenderse esta bobina sobre un clavo y el otro sostenga el peso con el que se hubiese distendido, y, colgando varias pesas, obsérvese exactamente a qué longitud cada una de las pesas lo extiende más allá de la longitud que su propio peso lo extiende y se encontrará que si una onza, o una libra o cierto

peso lo extendió unalínea, o una pulgada, o cierta longitud, entonces dos onzas, dos libras o dos pesas lo extenderán dos líneas, dos pulgadas o dos longitudes; y tres onzas, libras o pesas, tres líneas, pulgadas o longitudes y así sucesivamente. Y esta es la regla o ley de la naturaleza, sobre la cual todas las formas de movimiento de resorte o restitución proceden, ya sea de enrarecimiento, extensión, o condensación y compresión. (citado por Arons, 1970, p. 188)

En el mismo trabajo en el cual Robert Hooke describió la ley de la fuerza en el estiramiento elástico de un resorte helicoidal, también describió la ley de la fuerza asociada a la torsión elástica de un alambre en tensión y de un resorte helicoidal tal como el que se usa en un reloj. Hooke demostró experimentalmente que el desplazamiento angular a partir de la posición en reposo era proporcional al momento de la fuerza aplicada; $T(\theta) = k\theta$, en correspondencia directa con la ley de la fuerza lineal $F(x) = kx$.

LEY DE HOOKE DESDE LA LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

La ley de Hooke describe la relación entre la fuerza aplicada a un resorte y la deformación que experimenta. La ley establece que la *fuerza* F ejercida por un resorte es directamente proporcional a la elongación o *compresión* x del resorte desde su posición de equilibrio. Matemáticamente, se expresa como:

$F = -kx$, donde k es la constante del resorte y x es la deformación del resorte.

Proposiciones

Para aplicar la lógica formal a la ley de Hooke sin usar cuantificadores, podemos definir las siguientes proposiciones:

- P : "Se aplica una fuerza F a un resorte."
- Q : "El resorte se deforma en una cantidad x ."
- R : "La fuerza es proporcional a la deformación."
- S : "La dirección de la fuerza es opuesta a la dirección de la deformación."

Expresión Lógica

Podemos expresar la relación entre estas proposiciones de la siguiente manera:

1. Si P es verdadero (se aplica una fuerza al resorte), entonces se produce una deformación Q tal que se cumplen las condiciones R y S . Esto se puede escribir como:

$$P \Rightarrow (Q \wedge R \wedge S)$$

Desglose de la Expresión

P : Se aplica una fuerza al resorte.

Q: El resorte se deforma.

R: La fuerza es proporcional a la deformación (existe una constante k tal que:

$$|F| = k|x|).$$

• *S: La dirección de la fuerza ejercida por el resorte es opuesta a la dirección de la deformación (si el resorte se comprime, la fuerza ejercida por el resorte tiende a restaurarlo a su longitud original).*

Ejemplo Concreto

Supongamos que tienes un resorte y decides estirarlo aplicando una fuerza:

1. **Proposición P:** "Se aplica una fuerza hacia afuera al resorte."

2. **Proposición Q:** "El resorte se estira en una cantidad x ."

3. **Proposición R:** "La fuerza aplicada es proporcional a la elongación del resorte."

4. **Proposición S:** "La fuerza que el resorte ejerce para volver a su posición original es opuesta a la dirección de la elongación."

Conclusión

En resumen, hemos expresado la ley de Hooke utilizando proposiciones simples y relaciones lógicas sin recurrir a cuantificadores. Esto permite entender claramente cómo se relacionan las fuerzas y las deformaciones en un sistema que involucra un resorte.

LEY DE HOOKE Y LA LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

Para aplicar la lógica formal con cuantificadores a la ley de Hooke, primero debemos identificar las variables y los conceptos involucrados en la relación entre la fuerza, la deformación del resorte y la constante del resorte. A continuación, definiremos los elementos clave y expresaremos la ley de Hooke utilizando cuantificadores.

Definiciones

Variables:

- *Sea F una fuerza aplicada a un resorte.*
- *Sea x la deformación del resorte.*
- *Sea k la constante del resorte.*

2. Proposiciones:

- $P(F, x)$: "La fuerza F aplicada produce una deformación x ."
- $R(F, x)$: "La fuerza F es proporcional a la deformación x ."
- $S(F, x)$: "La dirección de la fuerza es opuesta a la dirección de la deformación."

Ley de Hooke

La ley de Hooke establece que para un resorte en condiciones elásticas, la relación entre la fuerza y la deformación se puede expresar como:

$$F = -kx$$

Expresión Lógica con Cuantificadores

Podemos formular la ley de Hooke utilizando cuantificadores de la siguiente manera:

$$\forall k \in \mathbb{R}^+, \forall F, \exists x \in \mathbb{R} : P(F, x) \Rightarrow R(F, x)$$

Desglose de la Expresión

1. Cuantificadores:

- $\forall k \in \mathbb{R}^+$: Para toda constante k positiva (constante del resorte).
- $\forall F$: Para toda fuerza F aplicada.
- $\exists x \in \mathbb{R}$: Existe una deformación x en los números reales.

2. Implicación:

- La expresión $P(F, x) \Rightarrow R(F, x)$ significa que si se aplica una fuerza F que produce una deformación x , entonces la magnitud de esa fuerza es proporcional a la deformación.

Interpretación

La expresión completa puede interpretarse como: "Para cada constante positiva k , para cada fuerza F que se aplique a un resorte, existe una deformación x tal que si se aplica esa fuerza, entonces la magnitud de la fuerza es proporcional a la deformación, cumpliendo así con la ley de Hooke."

Conclusión

Al utilizar cuantificadores en la lógica formal para expresar la ley de Hooke, hemos podido formalizar las relaciones entre las variables involucradas, lo que proporciona un marco lógico más riguroso para entender cómo se relacionan las fuerzas y las deformaciones en un sistema elástico.

LA LEY DE HOOKE DESDE LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La ley de Hooke es un principio fundamental en la física que describe el comportamiento de los materiales elásticos. Se puede explicar utilizando conceptos, juicios y razonamientos de la siguiente manera:

Conceptos

Elasticidad: Es la propiedad de un material que le permite volver a su forma original después de haber sido deformado. Por ejemplo, un resorte que se estira y luego regresa a su longitud original.

Fuerza: “Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo a fin de cambiar su estado, ya sea de reposo, o de movimiento uniforme en una línea recta” (Newton, 1687, p. 85). También puede decirse que la fuerza es un agente capaz de alterar el estado de movimiento. En el contexto de la ley de Hooke, la fuerza se refiere a la fuerza aplicada a un resorte o material elástico.

Deformación: Es el cambio en la forma o tamaño de un objeto debido a una fuerza aplicada. En el caso de un resorte, la deformación se mide como el alargamiento o compresión del mismo.

Constante elástica (k): Es una medida de la rigidez de un resorte o material elástico. Cuanto mayor sea el valor de k , más difícil será deformar el material.

Juicios

A partir de los conceptos anteriores, podemos formular juicios sobre la relación entre ellos:

Juicio 1: Si se aplica una fuerza a un material elástico o resorte, entonces se producirá una deformación en el mismo.

Juicio 2: La relación entre la *fuerza aplicada* (F) y la *deformación* (x) en un material elástico es directa y proporcional, lo que se expresa mediante la fórmula $F = -k \cdot x$, donde k es la *constante elástica*.

Juicio 3: Si se conoce la constante elástica de un material, se puede predecir cuánto se deformará ese material bajo una fuerza específica.

Razonamientos

El razonamiento detrás de la ley de Hooke se puede desglosar en los siguientes pasos:

Premisa 1: Todos los materiales tienen una capacidad limitada para deformarse bajo la acción de una fuerza. Esto implica que existe un límite más allá del cual un material no recuperará su forma original (límite elástico).

Premisa 2: Cuando una fuerza se aplica a un resorte, este se deforma y la cantidad de deformación es proporcional a la fuerza aplicada hasta llegar al límite elástico.

Conclusión: Por lo tanto, podemos afirmar que la relación entre la fuerza aplicada y la deformación en un resorte se puede expresar matemáticamente como $F = -k \cdot x$. Esto significa que si duplicamos la fuerza aplicada, también duplicamos la deformación, siempre que no se exceda el límite elástico del material.

Resumen

La ley de Hooke establece que la deformación de un objeto elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada, dentro del límite elástico del material. Utilizando conceptos como elasticidad, fuerza y deformación, junto con juicios sobre sus relaciones y razonamientos lógicos, podemos entender cómo y por qué funciona esta ley en la práctica.

LEYES DE KEPLER. EL DESARROLLO HISTÓRICO

Entre los diversos campos tratados por Kepler, se encuentran la astronomía, la astrología, la óptica, la teología, la meteorología, las matemáticas puras, la teoría musical y la cronología bíblica. Este último tema también estudiado por Newton.

De acuerdo a Rufus (1931)

...La principal gloria de Kepler...No se revela completamente en sus descubrimientos en el reino físico. Reside en la unidad de su naturaleza dual, científica y religiosa, en su búsqueda a tientas en el universo material por revelar la mente del Hacedor. Cuando su fe se debilitaba, él miraba las estrellas. Como astrónomo estaba pensando los pensamientos de Dios. En Kepler ciencia y religión estaban unidas. Sus especulaciones místicas han sido algunas veces desdeñadas. Algunos biógrafos, con amable intención, con aventadores y cedazos de su propia creación, han tratado de ahechar lo que para ellos era paja y escoria, y de preservar unos pocos granos de verdad científica para así representar la abundante cosecha de su fértil imaginación y sus prodigiosas labores. Ese método es tan desastroso para el Kepler real como arrancar los pétalos de una rosa silvestre y exhibir en su desnudez los estambres y los pistilos. Un cuidadoso cultivo transforma los estambres en una nueva serie de pétalos y entonces despunta la belleza de la doble flor. (pp. 35-36)

Las leyes sobre el movimiento planetario fueron formuladas por Johannes Kepler entre 1609 y 1619. Kepler, trabajó con los datos precisos de las posiciones planetarias recopilados por Tycho Brahe, un astrónomo danés. Tras la muerte de Brahe en 1601, Kepler se convirtió en su asistente y comenzó a analizar los datos para entender el movimiento de los planetas.

Kepler basa sus estudios sobre el sistema heliocéntrico defendido por Nicolás Copérnico. En Copérnico (1994) se encuentra que:

Y en medio de todo permanece el Sol. Pues, ¿quién en este bellissimo templo pondría esta lámpara en otro lugar mejor, desde el que pudiera iluminar todo? Y no sin razón unos le llaman lámpara del mundo, otros mente, otros rector. Trismegisto le llamó dios visible, Sófocles, en Electra, el que todo lo ve. Así, en efecto, como sentado en un solio real, gobierna la familia de los astros que lo rodean. (pp. 35-36)

Pero Kepler va más allá de las leyes del movimiento planetario y de las ideas de Copérnico. De acuerdo a Gingerich (1993):

Aunque estas son elementos esenciales en la obra de Kepler, creo que es justo reclamar un poco más. Copérnico le dio al mundo un revolucionario sistema heliostático, pero Kepler lo convirtió en un sistema heliocéntrico. En el universo de

Kepler, el Sol tiene una fundamental centralidad físicamente motivada que esencialmente está ausente en el De Revolutionibus. (p.333)

Primera Ley: Ley de las órbitas

De acuerdo a Holton (1952):

La primera ley de Kepler, al enmendar la teoría heliocéntrica de Copérnico da una representación mental maravillosamente simple del sistema solar. Se eliminan todos los epiciclos, todos los excéntricos; las órbitas son simples elipses. Una representación esquemática del sistema solar según la concepción actual es en esencia la misma de Kepler, pero con la adición de los planetas Urano, Neptuno y Plutón, descubiertos mucho después. Aunque Kepler era feliz al saber que podía reemplazar las complicadas combinaciones de epiciclos y excéntricas utilizadas hasta entonces para describir la órbita de un planeta mediante una simple elipse, debió hacerse a sí mismo la siguiente pregunta: “¿No es algo misterioso que de todos los tipos posibles de trayectorias los planetas hayan elegido justamente la elipse? Podemos comprender la predisposición de Platón por los movimientos circulares y uniformes, ¿pero no podemos entender fácilmente la insistencia de la Naturaleza en la elipse!”. La respuesta racional a esta cuestión no llegó hasta que un destacado genio inglés, de casi ochenta años, demostró que la ley de la elipse era una de las muchas consecuencias sorprendentes de una ley de la Naturaleza de mucho mayor alcance. Sin embargo, todavía no estamos preparados para seguir su razonamiento. Si, de momento, aceptamos la primera ley de Kepler como un resumen de hechos observados –una ley empírica—observamos que para describir las trayectorias la ley nos da todas las posibles localizaciones de un planeta determinado, pero no nos dice cuando estará en cualquiera de estas posiciones; nos habla de la forma de una órbita, pero no dice nada de la velocidad variable con que el planeta la recorre. Esto hace que la ley resulte inadecuada para un astrónomo que desea conocer la posición que un planeta ocupa en un momento determinado, o para un profano que ya sabe (como observamos antes en relación: con el ecuante) que el Sol parece moverse más rápido a través de las estrellas en invierno que en verano. Naturalmente, Kepler conocía bien todo esto y, de hecho, incluso antes de enunciar lo que ahora llamamos su “primera” ley, había establecido ya otra que regía las variaciones de velocidad de un planeta. (pp.150-154)

En 1609, Kepler publicó su primera ley en su obra *Astronomia Nova*. Esta ley establece que los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos. De acuerdo a Kepler (1992): "Los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el Sol en uno de los focos" (p. 85).

Newton demostró que esta forma de órbita se puede explicar mediante la ley de gravitación universal. Al aplicar su teoría, mostró que la fuerza gravitacional del Sol actúa

sobre los planetas, manteniéndolos en órbitas elípticas. Según Newton, la atracción gravitacional varía con la distancia, lo que permite que los planetas sigan trayectorias elípticas. Según Newton (1687): "La fuerza que mantiene a los planetas en sus órbitas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el planeta y el Sol" (p. 11).

Segunda Ley: Ley de las áreas

Según Holton (1952):

Kepler sabía que necesitaba una relación matemática entre la velocidad de un planeta en una posición de su órbita y la velocidad en cualquier otra posición. Si pudiese encontrarse tal relación se determinaría el movimiento de un planeta cualquiera con muy pocos datos: dos para determinar la elipse (por ejemplo, las longitudes de los ejes mayor y menor), un tercer dato para dar la velocidad en algún punto particular de su trayectoria (por ejemplo, en el perihelio, donde el planeta está más próximo al Sol), y otro dato más para determinar la inclinación del plano de su órbita respecto al de los otros planetas. Así, si pudiese encontrarse una relación simple entre la velocidad y la posición, se resumirían las características del movimiento de los planetas de un modo compacto y elegante. Pero hasta ahora nada había que indicase que tal relación existía. Por eso se dijo que Kepler estaba en éxtasis cuando fue capaz, con su ingenio y trabajo continuo, de establecer esa "segunda" ley a partir del voluminoso conjunto de datos de que podía disponer. Bien pudiera haber estado en éxtasis; pues toda su labor habría sido de poca utilidad sin este descubrimiento. La ruta de Kepler hacia la segunda ley fue una obra asombrosa, de la cual surgió el resultado correcto como una deducción de tres hipótesis incorrectas. En primer lugar, Kepler admitía que los planetas siguen sus órbitas por la acción de una fuerza procedente del Sol y que la intensidad de esta fuerza era inversamente proporcional a la distancia comprendida entre el planeta y el Sol. (En el pensamiento de Kepler, y usando su imaginación, él razonaba que la fuerza a cualquier distancia r debe estar uniformemente distribuida sobre la circunferencia de un círculo en el plano orbital; a mayor distancia, por ejemplo $2r$, la misma fuerza total debe distribuirse sobre un círculo cuya longitud de circunferencia es doble; por tanto, la intensidad de la fuerza en cualquier punto de dicho círculo sería solo la mitad). Él suponía, entonces, que la velocidad del planeta debe ser proporcional a la fuerza que le impulsa y, por tanto, inversamente proporcional a la distancia. La hipótesis de que la velocidad es proporcional a la fuerza neta resulta, naturalmente, incompatible con los principios modernos de la física; era, simplemente, una de las ideas de Aristóteles o del sentido común que Kepler compartía con todos sus contemporáneos. De acuerdo con la primera hipótesis de Kepler, el tiempo que tarda un planeta en recorrer una pequeña distancia a lo largo de su trayectoria sería proporcional a su distancia al Sol. Esto es aproximadamente correcto y

resulta ser exacto en ciertos puntos especiales de la órbita Kepler se propuso, entonces, calcular el tiempo que tarda el planeta en cubrir un segmento grande de la trayectoria (durante el cual cambia su distancia al Sol) sumando las distancias planeta-Sol para cada uno de los pequeños arcos que componen este gran segmento. El suponía que la suma de estas distancias era igual al área barrida por la línea trazada desde el Sol al planeta. Esta es una buena aproximación para las órbitas reales que Kepler estaba analizando, pero las matemáticas necesarias para un resultado exacto (el "cálculo" de Newton y Leibnitz) no se inventaron hasta pasado otro medio siglo. Kepler introdujo como tercera hipótesis que la órbita era circular. Esto es de nuevo sólo una aproximación bastante buena para casi todas las órbitas planetarias (Kepler no había establecido todavía su "primera ley", que requería que las órbitas fuesen elípticas); pero, realmente, no era necesario hacer tal aproximación. La segunda ley de Kepler, que él encontró siguiendo una línea de razonamiento que no convencería a un lector actual, se expresó en el párrafo anterior: el área barrida por la línea Sol-planeta es proporcional al tiempo transcurrido. O bien, en la forma que ha llegado a ser estándar: Durante un determinado intervalo de tiempo una recta trazada del planeta al Sol barre áreas iguales en cualquier punto de su trayectoria. También se llama Ley de las áreas iguales. A pesar de la inexactitud de las hipótesis utilizadas en su deducción original, la propia ley describe, exactamente, el movimiento de cualquier planeta alrededor del Sol; también se aplica al movimiento de la Luna alrededor de la Tierra o de un satélite alrededor de cualquier planeta. El hecho de que la Tierra se mueva más rápidamente (o que el Sol visto desde la Tierra se mueva con mayor velocidad sobre el fondo de las estrellas) en invierno que en verano, era bien conocido por los astrónomos desde mucho antes; era un efecto que podía explicarse por la introducción del artificio de los "ecuantos" en el sistema geocéntrico y una razón de por qué el sistema de Copérnico sin ecuantos no era completamente adecuado para representar los detalles del movimiento planetario. La ley segunda de Kepler cumple el mismo objetivo que el ecuante, pero en una forma mucho más satisfactoria. Sin embargo, en el propio trabajo de Kepler, la segunda ley es una regla empírica que, aunque exacta, no tiene explicación teórica. (pp.154-156)

La segunda ley, presentada en el mismo libro (*Astronomia Nova*), describe cómo un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales. Esto implica que los planetas se mueven más rápido cuando están más cerca del Sol. Según Kepler (1992): "Un planeta se mueve de tal manera que barre áreas iguales en tiempos iguales" (p. 90).

Newton explicó que, dado que la fuerza gravitacional actúa como un centro de atracción, la velocidad de un planeta varía a lo largo de su órbita. Esto significa que cuando un planeta está más cerca del Sol, se mueve más rápido, y cuando está más lejos, se mueve más lentamente. Según Newton (1687): "El cambio en el momento angular de un planeta es igual a la fuerza que actúa sobre él multiplicada por el tiempo" (p. 35).

Tercera Ley: Ley de los períodos

Al respecto Holton (1952):

Kepler aún estaba insatisfecho con un aspecto de sus descubrimientos: no se había hallado ninguna relación entre los movimientos de los distintos planetas. Hasta entonces, cada planeta parecía tener su órbita elíptica propia y su propia velocidad, pero no parecía existir un modelo general para todos los planetas. Ni había ninguna razón por la que pudiese esperarse que existiese tal relación. Sin embargo, Kepler estaba convencido de que, al investigar las diferentes posibilidades, encontraría una relación simple que ligase todos los movimientos que ocurren en el sistema solar. El buscaba esta regla, incluso en el dominio de la teoría musical, esperando, como los partidarios de Pitágoras, encontrar una conexión entre las órbitas planetarias y las notas musicales; su gran trabajo (1619) se tituló *Las armonías del mundo*. Esta convicción de que existe una regla simple, tan intensa que nos parece una obsesión, era parcialmente un indicio de sus primeras preocupaciones por los números y parcialmente también el buen instinto del genio para encontrar el resultado correcto. Pero, en realidad era, igualmente, indicio de una profunda tendencia que se manifiesta a través de toda la historia de la ciencia: la creencia en la simplicidad y uniformidad de la Naturaleza. Esta creencia ha sido siempre manantial de inspiración que ha ayudado a los científicos a vencer los obstáculos inevitables en su trabajo y ha sostenido su espíritu durante los periodos de intensa e infructuosa labor. Para Kepler fue esta creencia la que hizo soportable una vida de penosos infortunios personales, de modo que podría escribir triunfalmente al llegar, al fin, al descubrimiento de su tercera ley del movimiento planetario: "...después de descubrir por el continuo trabajo durante largo tiempo, utilizando las observaciones de Brahe, la verdadera distancia de las órbitas, al fin la verdadera relación... logro arrojar las sombras de mi mente al obtener un acuerdo tan perfecto entre mi trabajo de diecisiete años sobre las observaciones de Brahe, y este estudio que ahora presento, que al principio creí que estaba soñando..." Esta ley, en terminología moderna, establece que el *período* T de un planeta dado (esto es, el tiempo que tarda en una revolución completa en su órbita alrededor del Sol), y el *radio* R medio (el *valor de* R para una órbita elíptica es igual a la mitad de la longitud del segmento rectilíneo que va del perihelio al afelio; la mayor parte de las trayectorias planetarias son casi circulares de tal modo que R es, entonces, simplemente el radio de la órbita circular), de su órbita, es una constante que tiene el mismo valor para todos los planetas. Pero, si T^2 / R^3 es el mismo para todos los planetas, podemos calcular su valor numérico para uno de ellos (para la Tierra $T_E = 1$ año, $R_E = 15 \times 10^7$ km.) y, por tanto, siempre podremos calcular el valor de T para cualquier otro planeta si se conoce R , y viceversa. La tercera Ley de Kepler se denomina, con frecuencia, la ley armónica, ya que establece una bella relación entre los

planetas. Desde este punto podemos vislumbrar el progreso que hemos realizado hasta ahora. Partiendo de la multitud inconexa de los mecanismos de Ptolomeo hemos alcanzado una formulación heliocéntrica que contempla el sistema solar como una unidad simple y lógicamente conexas. Nuestra mente capta el universo kepleriano de un vistazo y reconoce movimientos principales como la expresión de simples leyes matemáticas. Nuevo concepto de la ley física Kepler, utilizando la obra de Tycho, sus propias observaciones y sus tres poderosas leyes, construyó unas tablas precisas del movimiento de los planetas que habían sido necesarias desde hacía tiempo y que aún serían útiles un siglo después. hombre prodigioso. Debemos señalar dos características que tuvieron un gran efecto en todas las ciencias físicas. Una, que ya hemos estudiado, es una nueva actitud ante los hechos observados. Ya indicamos el cambio que se produce en la obra de Kepler desde su insistencia inicial en un modelo geométrico y su forma como principal herramienta de explicación, al estudio del propio movimiento y de las relaciones numéricas que le sirven de base. La otra es su afortunado intento de formular leyes físicas en forma matemática, con el lenguaje de la geometría y del álgebra. En este sentido, la ciencia de Kepler fue totalmente moderna; él más que ninguno otro antes, se inclina ante el árbitro implacable y supremo de toda teoría física, a saber, la evidencia en la observación realizada de un modo preciso y cuantitativo. Además, en el sistema kepleriano, no se consideraba que los planetas se movían en sus órbitas a causa de su naturaleza o influencia divina, como enseñaban los escolásticos, ni que sus formas esféricas sirviesen de explicación autoevidente a sus movimientos circulares, como en el pensamiento de Copérnico; y así nos quedamos sin ninguna intervención física que “explicase” el movimiento planetario tan bien descrito en estas tres leyes. El mismo Kepler sintió la necesidad de reforzar sus descripciones matemáticas con un mecanismo físico. En uno de sus últimos libros nos dice cómo han cambiado sus propios puntos de vista: “En una ocasión yo creí firmemente que la fuerza motriz de un planeta residía en un alma... Sin embargo, cuando reflexioné que esta causa de movimiento disminuía en proporción a la distancia, del mismo modo que la luz del Sol disminuye en proporción a la distancia a este astro, llegué a la conclusión de que esa fuerza debe ser sustancial; no en el sentido literal, sino... de la misma manera que decimos que la luz es algo sustancial significando que es un ente no sustancial que emana de un cuerpo sustancial.” Aunque quedó para Newton el descubrimiento de la teoría de las fuerzas gravitatorias y, por tanto, englobar las tres leyes de Kepler junto con la concepción heliocéntrica y los principios de la mecánica terrestre en una síntesis monumental, Kepler imaginó una hipótesis verdaderamente prometedora: El reciente trabajo del inglés William Gilbert (1544-1603) sobre magnetismo le había intrigado, y su portentosa imaginación ideó fuerzas magnéticas que emanaban del Sol para “dirigir” los planetas en sus órbitas. El magnetismo, en realidad, no explica las leyes de Kepler; Newton, más

tarde. sintió la necesidad de demostrar con detalle que este agente hipotético no explicaba las observaciones cuantitativas. Pero, en un sentido más general, Kepler anticipó el tipo de explicación que Newton iba a establecer. Como él escribió a un amigo en 1605: "Mi objetivo es demostrar que la máquina celeste no es una especie de ser vivo divino, sino una especie de mecanismo de relojería (y quien crea que un reloj; tiene alma, atribuye al trabajo la gloria del constructor), por cuanto casi todos sus múltiples movimientos los origina una fuerza material y magnética muy sencilla, al igual que todos los movimientos del reloj los origina un simple peso. Y también muestro cómo hay que dar expresión numérica y geométrica a estas causas físicas". Aquí tenemos un ejemplo del enorme cambio en la perspectiva de Europa, iniciado dos siglos antes. Cada vez más los sucesos dejaban de considerarse como símbolos y tenían valor por sí mismos. El hombre dejaba, a su vez, de preocuparse de acertijos antropomórficos en un mundo de organismos y se convertía, poco a poco, en un observador de hechos y un teorizante en un mundo mecanicista. Sin esta nueva actitud no habría existido ciencia moderna, pues si tuviéramos que comenzar nuestra ciencia a partir de observaciones experimentales, tendríamos fe en el material primario experimental y no en los símbolos de misterios complejos. Llegamos a entusiasrnos con el mundo observable por su propia esencia y debemos alcanzar una fe tácita en el significado de la naturaleza y su acceso directo a nuestro entendimiento antes de esperar que generaciones de científicos se dediquen a las minuciosas y, a veces, tediosas investigaciones cuantitativas de la Naturaleza. En este sentido, el trabajo de Kepler pregona el cambio hacia la moderna actitud científica: considerar que una amplia variedad de fenómenos se explican cuando todos ellos se describen mediante un modelo de conducta simple y, preferiblemente, matemático. Parece asombroso que Kepler siguiera este camino. Había comenzado su carrera como un místico buscador de símbolos, pero ahora podemos reflexionar sobre el gran cambio experimentado por su alma compleja: dio forma a sus leyes físicas y buscó después su simbolismo. La especulación filosófica, frecuentemente más llena de color, sigue al análisis de los hechos y no a la inversa; actualmente muchos científicos han encontrado que es posible reconciliar su física y su filosofía personal basándose en esta secuencia. (pp.156-160)

Finalmente, en 1619, Kepler publicó su tercera ley en *Harmonices Mundi*. Esta ley relaciona el período orbital de un planeta con su distancia media al Sol. De acuerdo a Kepler (1997): "El cuadrado del período de un planeta es proporcional al cubo de la distancia media al Sol" (p. 150).

Newton demostró esta relación al aplicar su ley de gravitación universal y la dinámica del movimiento circular. Al analizar las fuerzas en juego y las órbitas de los planetas, dedujo que la relación se mantiene. De acuerdo a Newton (1687): "La relación entre el período

orbital y la distancia se puede expresar mediante una constante que se aplica a todos los planetas" (p. 63).

Debe destacarse que Galileo Galilei (1564-1642) fue contemporáneo de Kepler y sus descubrimientos en el uso del telescopio complementaron el trabajo de Kepler. Galileo observó los cuerpos celestes, como las lunas de Júpiter y las fases de Venus, lo que proporcionó evidencia empírica que apoyaba el modelo heliocéntrico. Aunque Galileo no formuló leyes del movimiento planetario, su defensa del heliocentrismo influyó en Kepler.

Kepler y Galileo compartían un interés por la astronomía y se correspondieron, aunque sus enfoques eran diferentes. Kepler era más matemático y teórico, mientras que Galileo se centraba en la observación y la experimentación.

De acuerdo a Swerdlow (1995): "La obra de Galileo fue fundamental para la aceptación del modelo heliocéntrico, que Kepler utilizó para desarrollar sus leyes" (p. 45).

Las leyes de Kepler no solo revolucionaron la astronomía, sino que también sentaron las bases para la ley de gravitación universal de Newton. Kepler demostró que el universo no era caótico, sino que seguía un orden matemático.

LEYES DE KEPLER DESDE LA LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

Las tres leyes de Kepler describen el movimiento de los planetas alrededor del sol y se pueden expresar de manera lógica formal sin utilizar cuantificadores. A continuación, se presentan las tres leyes junto con una explicación de cómo se pueden formular en un lenguaje lógico.

1. Primera Ley de Kepler (Ley de las órbitas)

Enunciado: Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos.

Lógica formal:

- **Premisa 1:** Si un objeto es un planeta, entonces su trayectoria es una elipse.
 - **Premisa 2:** El Sol está ubicado en uno de los focos de la elipse.
- Conclusión:** Por lo tanto, todos los planetas tienen órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos.

2. Segunda Ley de Kepler (Ley de las áreas)

Enunciado: La línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Lógica formal:

- **Premisa 1:** Si un objeto es un planeta, entonces existe una línea que lo conecta al Sol.
- **Premisa 2:** A medida que el planeta se mueve a lo largo de su órbita, la cantidad de área barrida por esa línea en un intervalo de tiempo determinado es constante.

Conclusión: Por lo tanto, la línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

3. Tercera Ley de Kepler (Ley de los períodos)

Enunciado: El cuadrado del período orbital de un planeta es proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol.

Lógica formal:

• **Premisa 1:** Si un objeto es un planeta que orbita alrededor del Sol, entonces tiene un período orbital T y una distancia media al Sol.

• **Premisa 2:** Si el cuadrado del período orbital de un planeta es (T^2) , entonces este valor es proporcional al cubo de la distancia media (R^3) entre el planeta y el Sol.

• **Premisa 3:** Para todos los planetas que orbitan el Sol, existe una relación constante entre el cuadrado de su período orbital y el cubo de su distancia media al Sol T^2 / R^3

Conclusión: Todos los planetas en el sistema solar obedecen la misma relación: $T^2 / R^3 = K$

Conclusión: Si un planeta que orbita alrededor del Sol tiene un período orbital mayor que otro planeta, entonces su distancia media al Sol debe ser mayor.

Resumen

A través de estas formulaciones, hemos utilizado un enfoque lógico para expresar las leyes de Kepler sin recurrir a cuantificadores. Cada ley se descompone en premisas que llevan a conclusiones basadas en relaciones observables entre los planetas y el Sol. Esto permite entender cómo las leyes se interrelacionan y describen el movimiento planetario en términos lógicos claros.

LEYES DE KEPLER DESDE LA LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

Para explicar las tres leyes de Kepler utilizando la lógica formal con cuantificadores, podemos definir algunas variables y relaciones que nos ayudarán a formalizar cada ley. Utilizaremos los siguientes símbolos:

- $P(x)$: "*x es un planeta*"
- S : "*el Sol*"
- $O(x)$: "*x tiene una órbita elíptica*"
- $A(x, t)$: "*el área barrida por la línea que une x y S en el tiempo t* "
- $T(x)$: "*el período orbital de x* "

- $R(x)$: "la distancia media de x al Sol"

A continuación, formularemos cada ley utilizando cuantificadores.

1. Primera Ley de Kepler (Ley de las órbitas)

Enunciado: Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos.

Lógica formal:

$$\forall x (P(x) \rightarrow O(x))$$

Esto se lee como: "Para todo x , si x es un planeta, entonces x tiene una órbita elíptica".

2. Segunda Ley de Kepler (Ley de las áreas)

Enunciado: La línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Lógica formal:

$$\forall x (P(x) \rightarrow \forall t_1, t_2 (t_1 = t_2 \rightarrow A(x, t_1) = A(x, t_2)))$$

Esto se lee como: "Para todo x , si x es un planeta, entonces para todo tiempo t_1 y t_2 , si t_1 es igual a t_2 , entonces el área barrida por la línea que une x y S en esos tiempos es igual".

3. Tercera Ley de Kepler (Ley de los períodos)

Enunciado: El cuadrado del período orbital de un planeta es proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol.

Lógica formal:

$$\forall x (P(x) \rightarrow T(x)^2 \propto R(x)^3)$$

Esto se lee como: "Para todo x , si x es un planeta, entonces el cuadrado del período orbital de x es proporcional al cubo de la distancia media de x al Sol".

Resumen

Al utilizar cuantificadores, hemos podido expresar las tres leyes de Kepler de manera más precisa y formal. Cada ley se formula como una afirmación universal que aplica a todos los planetas, describiendo sus propiedades y comportamientos en relación con el Sol. Esto permite un análisis lógico más riguroso de las leyes que rigen el movimiento planetario.

LEYES DE KEPLER DESDE LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

Para explicar las leyes de Kepler en base a conceptos, juicios y razonamientos de acuerdo con la teoría del conocimiento, es importante considerar cómo se construye el conocimiento científico y cómo se relacionan estas leyes con la observación, la

interpretación y la formulación de teorías. A continuación, se presenta un análisis que abarca estos aspectos.

1. Conceptos

Los conceptos son las ideas fundamentales que nos permiten entender fenómenos. En el contexto de las leyes de Kepler, algunos conceptos clave son:

- **Órbita:** El trayecto que sigue un cuerpo celeste alrededor de otro debido a la gravedad.
- **Elipse:** Una figura geométrica que describe la forma de las órbitas planetarias según la primera ley de Kepler.
- **Área:** En la segunda ley, se refiere a la región barrida por un planeta en su movimiento orbital.
- **Período:** El tiempo que tarda un planeta en completar una órbita alrededor del Sol.
- **Distancia media:** La distancia promedio entre un planeta y el Sol durante su órbita.

2. Juicios

Los juicios son afirmaciones que se pueden considerar verdaderas o falsas. Las leyes de Kepler pueden ser vistas como juicios que describen relaciones observadas en el movimiento planetario:

- **Primera Ley (Juicio):** "Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos."
- **Segunda Ley (Juicio):** "La línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales."
- **Tercera Ley (Juicio):** "El cuadrado del período orbital de un planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol."

Estos juicios se derivan de observaciones sistemáticas del movimiento planetario y se validan mediante la evidencia empírica.

3. Razonamientos

El razonamiento es el proceso mediante el cual se extraen conclusiones a partir de premisas. En el caso de las leyes de Kepler, el razonamiento puede ser inductivo y deductivo:

- **Razonamiento inductivo:** Kepler formuló sus leyes a partir de datos recopilados por Tycho Brahe. Observando patrones en las posiciones de los planetas, Kepler generalizó que todos los planetas siguen las mismas reglas.

Ejemplo:

- **Observación:** Los planetas parecen seguir trayectorias elípticas.

- Generalización: Por lo tanto, todos los planetas deben moverse en órbitas elípticas.
- **Razonamiento deductivo:** Una vez formuladas las leyes, se pueden utilizar para hacer predicciones sobre el movimiento planetario. Por ejemplo, si sabemos la distancia media de un planeta al Sol, podemos predecir su período orbital utilizando la tercera ley.

4. Relación con la teoría del conocimiento

La teoría del conocimiento nos ayuda a entender cómo adquirimos y validamos el conocimiento. En este contexto:

- **Empirismo:** Es la filosofía que sostiene que el conocimiento se obtiene a través de la experiencia y la observación. Las leyes de Kepler fueron formuladas a partir de datos empíricos recopilados por el astrónomo Tycho Brahe.
- **Racionalismo:** Es la corriente filosófica que enfatiza el papel de la razón y el pensamiento lógico en la adquisición del conocimiento, a menudo en contraposición a la experiencia sensorial. Kepler utilizó su razonamiento matemático para interpretar los datos empíricos recopilados por Tycho Brahe y formular sus leyes, mostrando cómo la razón puede dar sentido a la experiencia. Su capacidad de generalizar patrones observados en el movimiento planetario y expresar esas regularidades mediante formulas matemáticas es una manifestación del pensamiento racionalista.
- **Falsabilidad:** Es un concepto introducido por Karl Popper, que sostiene que una teoría científica debe ser susceptible de ser refutada por la observación o la experiencia. En este sentido las leyes de Kepler son falsables porque hacen predicciones específicas sobre el comportamiento de los planetas. Las leyes de Kepler son susceptibles de ser probadas y potencialmente refutadas por nuevas observaciones. Esto es un aspecto clave del método científico.

Conclusión

Las leyes de Kepler son un ejemplo clásico de cómo se construye el conocimiento científico a través de conceptos bien definidos, juicios basados en observaciones y razonamientos lógicos. Su formulación no solo representa un avance significativo en la astronomía, sino que también ilustra los principios fundamentales de la teoría del conocimiento en la ciencia: la importancia de la observación empírica, el razonamiento lógico y la capacidad de formular teorías que expliquen fenómenos naturales.

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO. SU HISTORIA

La cantidad de movimiento es una de las magnitudes físicas que entraña cierto misterio, en fin, una caja negra. Surge como una necesidad de explicar el por qué un cuerpo sigue

moviéndose después de aplicarle una fuerza. Pero, ¿qué es en realidad la cantidad de movimiento? ¿Qué hay dentro de los cuerpos o fuera de ellos que los impulsan a seguir el movimiento? Nunca nadie antes de Newton pudo darle respuesta coherente a este asunto, tampoco Newton la pudo dar, pero al menos es la más coherente de todas.

Fue Galileo quien comenzó seriamente a estudiar el tema de las colisiones entre partículas. Según Arons (1970),

Galileo veía el progreso en la dinámica a través del estudio de los cambios del movimiento que ocurrían en las colisiones entre partículas. Descartes estudió las colisiones y publicó como leyes del movimiento una lista de reglas que eran obedecidas por cuerpos en colisión. Cuando en 1668, la Real Sociedad de Londres, pidió proposiciones definitivas de las leyes del movimiento y de <llevar a un solo punto de vista lo que aquellos excelentes hombres, Galileo, Descartes...y otros habían inventado>, fueron presentados trabajos por Wallis, Wren y Huygens. Cada uno presentó reglas para las colisiones, dadas las masas y las velocidades iniciales de las partículas. Wallis y Huygens se percataron que la cantidad de movimiento lineal tenía propiedades vectoriales y que se conservaba en las colisiones. Ninguno de los trabajos presentados fueron considerados las leyes del movimiento, ya que para tener un dominio general y amplio de la Física del movimiento había que definir y trabajar con la magnitud fuerza (acción), que es la que cambia el estado del movimiento. Fue Newton, el que define fuerza, y es quien establece los <axiomas sobre las leyes del movimiento>, con un significado completamente diferente de las reglas de las colisiones”. (Arons, 1970, p. 145).

Newton, en el libro los <Principia>, escribe: “La cantidad de materia es la medida de la misma originada de su densidad y volumen conjuntamente”, a lo que sigue: “El aire dos veces más denso, en también doble espacio, es cuádruple, en triple espacio, séxtuple.” Más adelante nos dice: “La cantidad de movimiento es la medida del mismo obtenida de la velocidad y de la cantidad de materia conjuntamente”. (Newton. I, 1687, p. 84)

Muchos científicos anteriores a Newton se dieron cuenta, como dijo Huygens en 1668 que:

...la cantidad de movimiento de dos cuerpos, puede ser aumentada o disminuida por su choque, pero la misma cantidad, hacia la misma parte, queda después de sustraer la cantidad del movimiento contrario”. Como es lógico aquí es conservado el momento en una colisión. Pero es Newton quien mejor expresa la referida ley, como se ve a continuación. (cit. por Arons, 1970, p. 380)

En el libro los *Principia*, Newton escribe el significado de la ley de conservación de la cantidad de movimiento: “La cantidad de movimiento que se obtiene tomando la suma de los movimientos hechos en una dirección y la diferencia de los realizados en

sentido contrario, no cambia por la acción de los cuerpos entre sí” (Newton, 1687, p. 98).

A lo que le sigue:

Puesto que una acción y su reacción contraria son iguales por la Ley III y, por la Ley II, producen en los movimientos cambios iguales en dirección contraria. Por tanto, si los movimientos ocurren hacia la misma dirección, lo que se añade al cuerpo que se separa se detrae del movimiento del cuerpo que le sigue, de tal modo que la suma permanece igual que al principio. Y si los cuerpos van al encuentro será igual la cantidad detraída de cada móvil y, por ende, la diferencia de los movimientos en sentido opuesto permanecerá constante. (Newton, 1687, p. 98)

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO. LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

La ley de conservación de la cantidad de movimiento, también conocida como conservación del momento lineal, establece que en un sistema aislado (sin influencias externas), la cantidad total de movimiento (o momento lineal) se mantiene constante a lo largo del tiempo. Para explicarla utilizando lógica formal, podemos seguir un razonamiento estructurado sin recurrir a cuantificadores.

1. Definiciones Clave

- **Cantidad de Movimiento (o Momento Lineal):** Se define como el producto de la masa de un objeto por su velocidad.
- **Sistema Aislado:** Un sistema donde no hay fuerzas externas actuando sobre los objetos que lo componen.

2. Suposiciones Iniciales

- Supongamos que tenemos un sistema compuesto por dos objetos que interactúan entre sí, pero no están sujetos a fuerzas externas.
- Llamemos A y B a estos dos objetos, con masas m_A y m_B , y velocidades v_A y v_B respectivamente.

3. Planteamiento del Razonamiento

1. Estado Inicial:

- Antes de la interacción, el momento lineal total del sistema es la suma del momento lineal de ambos objetos:

$$P_{(inicial)} = m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B$$

2. Interacción:

- Durante la interacción, los objetos pueden cambiar sus velocidades debido a fuerzas internas (por ejemplo, colisiones), pero estas fuerzas son internas al sistema.

3. Estado Final:

- Después de la interacción, llamemos v'_A y v'_B a las nuevas velocidades de los objetos. El momento lineal total del sistema después de la interacción es:

$$P_{(final)} = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

4. Igualdad de Momentos:

- Dado que no hay fuerzas externas actuando sobre el sistema, la cantidad total de movimiento debe ser la misma antes y después de la interacción:

$$P_{(inicial)} = P_{(final)}$$

- Esto implica que:

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

4. Conclusión

- A partir de este razonamiento, se concluye que el momento lineal total del sistema se conserva durante las interacciones internas. Esta propiedad se aplica a cualquier sistema aislado, independientemente de la naturaleza de las interacciones internas.
- Así, la ley de conservación de la cantidad de movimiento establece que en ausencia de fuerzas externas, el momento lineal total se mantiene constante.

Este razonamiento utiliza una estructura lógica formal al presentar definiciones, suposiciones y conclusiones sin necesidad de cuantificadores, manteniendo una claridad en la relación entre las variables involucradas.

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO. LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

Para aplicar la lógica formal utilizando cuantificadores en el contexto de la ley de conservación de la cantidad de movimiento, podemos estructurar el razonamiento de la siguiente manera. En este caso, utilizaremos los *cuantificadores existenciales* (\exists) y *universales* (\forall) para expresar las afirmaciones de manera formal.

1. Definiciones Clave

- **Cantidad de Movimiento:** Se define como $p = mv$, donde p es la cantidad de movimiento, m es la masa y v es la velocidad de un objeto.

- **Sistema Aislado:** Un sistema donde no actúan fuerzas externas sobre los objetos que lo componen.

2. Planteamiento del Razonamiento

1. Variables y Notación:

- Sea S un sistema aislado que contiene un número finito de objetos.
- Para cada objeto i en S , definimos su masa como m_i y su velocidad como v_i .
 - La cantidad total de movimiento del sistema se define como:

$$P(S) = \sum_{i=1}^n m_i v_i$$

2. Afirmaciones Formales:

- **Estado Inicial:** Antes de cualquier interacción, podemos afirmar que:

$$P_{(inicial)} = P(S) = \sum_{i=1}^n m_i v_i$$

- **Interacción:** Durante una interacción interna, los objetos pueden cambiar sus velocidades, pero no hay fuerzas externas actuando sobre ellos.

- **Estado Final:** Después de la interacción, las nuevas velocidades se denotan como v'_i . Entonces, el momento lineal total después de la interacción es:

$$P_{(final)} = \sum_{i=1}^n m_i v'_i$$

4. Conservación del Momento Lineal:

- Utilizando cuantificadores, podemos expresar la conservación del momento lineal de la siguiente manera:

$\forall S$ (sistema aislado), $\forall t_1, t_2$ (momentos en el tiempo):

$$P(S, t_1) = P(S, t_2)$$

- Esto significa que para cualquier sistema aislado S , el momento lineal total en un tiempo t_1 es igual al momento lineal total en otro tiempo t_2 .

5. Formalización de la Interacción:

- Si consideramos dos objetos A y B dentro del sistema, podemos expresar que:

$$P_{(inicial)} = m_A v_A + m_B v_B$$

y

$$P_{(final)} = m_A v'_A + m_B v'_B$$

- Entonces, podemos afirmar que:

$$P_{(inicial)} = P_{(final)} \Rightarrow m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$$

3. Conclusión

- Hemos utilizado cuantificadores para formalizar la ley de conservación de la cantidad de movimiento. La afirmación clave es que para cualquier sistema aislado, el momento lineal total se conserva a lo largo del tiempo, lo que se expresa mediante la igualdad de los momentos lineales en diferentes instantes.
- Esta formulación con cuantificadores permite generalizar la ley a todos los sistemas aislados y proporciona una base lógica sólida para su aplicación en diversas situaciones físicas.

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO Y LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

Para aplicar la teoría del conocimiento a la ley de conservación de la cantidad de movimiento, podemos desglosar el análisis en tres componentes fundamentales: conceptos, juicios y razonamientos. Cada uno de estos elementos nos ayudará a entender cómo se construye nuestro conocimiento sobre esta ley física.

1. Conceptos

Los conceptos son las ideas fundamentales que utilizamos para describir fenómenos. En el contexto de la ley de conservación de la cantidad de movimiento, algunos conceptos clave son:

- **Cantidad de Movimiento (Momento Lineal):** Se define como el producto de la masa y la velocidad de un objeto, es decir, $p = mv$. Este concepto nos permite cuantificar el movimiento de un objeto.
- **Sistema Aislado:** Un sistema en el que no actúan fuerzas externas. Este concepto es crucial para aplicar la ley de conservación, ya que en un sistema aislado, la cantidad de movimiento total permanece constante.
- **Interacción:** Se refiere a las fuerzas que actúan entre los objetos dentro del sistema. Las interacciones internas no afectan la cantidad total de movimiento del sistema.

2. Juicios

Los juicios son afirmaciones que podemos hacer sobre los conceptos. En este contexto, podemos formular varios juicios sobre la conservación de la cantidad de movimiento:

- **Juicio 1:** En un sistema aislado, la cantidad total de movimiento antes y después de una interacción es igual.

• **Juicio 2:** La cantidad de movimiento se conserva independientemente de las interacciones internas entre los objetos del sistema.

• **Juicio 3:** Si un objeto A colisiona con un objeto B en un sistema aislado, la suma de sus cantidades de movimiento antes de la colisión es igual a la suma de sus cantidades de movimiento después de la colisión.

3. Razonamientos

Los razonamientos son procesos lógicos que nos permiten llegar a conclusiones basadas en los conceptos y juicios. Aquí hay un ejemplo de razonamiento aplicado a la ley de conservación de la cantidad de movimiento:

Razonamiento Deductivo

1. **Premisa 1:** La *cantidad de movimiento* p se define como $p = mv$.

2. **Premisa 2:** En un sistema aislado, no hay fuerzas externas que actúen sobre los objetos.

3. **Premisa 3:** Por definición, si no hay fuerzas externas, la cantidad total de movimiento del sistema se conserva.

4. **Conclusión:** Por lo tanto, para cualquier sistema aislado, $P(\text{inicial}) = P(\text{final})$, donde P es la cantidad total de movimiento.

Razonamiento Inductivo

Podemos observar múltiples experimentos y situaciones en las que se verifica la conservación del momento lineal:

1. **Observación 1:** En una colisión elástica entre dos bolas de billar, se observa que la cantidad total de movimiento se conserva.

2. **Observación 2:** En una explosión en un sistema cerrado, se observa que la cantidad total de movimiento antes y después se mantiene constante.

3. **Generalización:** A partir de estas observaciones repetidas, podemos inducir que la ley de conservación de la cantidad de movimiento es válida para todos los sistemas aislados.

Conclusión

Al aplicar la teoría del conocimiento a la ley de conservación de la cantidad de movimiento, hemos identificado conceptos clave que forman la base del entendimiento (como cantidad de movimiento y sistema aislado), formulado juicios sobre cómo se relacionan estos conceptos y desarrollado razonamientos lógicos que llevan a conclusiones sobre la naturaleza del movimiento en sistemas aislados. Esta estructura nos ayuda a construir un conocimiento sólido y coherente sobre este principio fundamental en la física.

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA. SU HISTORIA

Ya en los *Diálogos* de Galileo, Salviati expresa:

Pero decidme, amigos: el mazo que dejado caer sobre una estaca, desde una altura de cuatro codos, la hinca en tierra, digamos cuatro dedos, si viniera de una altura de dos codos la clavaría mucho menos, y menos todavía si viniera de la altura de un codo, y menos todavía si viniera de la altura de un palmo. (Galilei, G, 1945, pp. 224-225)

Como puede interpretarse del párrafo anterior, Galileo plantea la proporcionalidad entre la distancia que se hunde la estaca y la velocidad del cuerpo que cae. De esta manera, Galileo anticipa una forma de medir el trabajo mecánico a partir de sus efectos.

En *Essai sur les machines en général* (1782) de Lazare Carnot aparece el concepto de trabajo con el nombre de momento de actividad y fuerza viva. La introducción del trabajo en el sentido actual fue realizada por un grupo de ingenieros franceses entre los que figuran H. Navier (1785-1836), G. Coriolis (1792-1843) y J.-V. Poncelet (1788-1867).

El nombre de trabajo fue propuesto por Poncelet en *Introduction à la mécanique industrielle* (1829) y en el tratado de Coriolis *Du calcul de l'effet des machines data* de 1829, aparece por primera vez la formulación del principio de conservación de las fuerzas vivas (energía cinética) en términos de trabajo. Coriolis redefine la fuerza viva (energía cinética) como $\frac{1}{2}mv^2$ para que el trabajo sea igual a la variación de dicha fuerza (energía cinética).

De acuerdo a Arons (1970), la ley de conservación de la energía mecánica pasó por las siguientes etapas, comenzando por la proposición de Huygens:

Según Huygens, la suma de los productos resultantes de multiplicar la masa de cada cuerpo duro por el cuadrado de su velocidad, es la misma antes y después del choque. En esta proposición se expone el principio de conservación de la energía cinética en los choques elásticos. Los choques inelásticos fueron analizados por J. Wallis (1616-1703), que diferenció los cuerpos perfectamente duros, de los blandos. Cuando se refiere a estos últimos, afirma que: <un cuerpo blando es el que se deforma en un choque de tal manera que pierdesu forma original... parte de la fuerza se utiliza para deformarlos>. Las palabras anteriores indican que Wallis reconoce que una parte de la fuerza viva (energía cinética) del cuerpo incidente se utiliza para deformar el cuerpo blando, es decir, la fuerza viva (energía cinética) no se conserva en un choque inelástico. Por su parte Leibniz encontró la misma cantidad, mV^2 , en otras líneas de investigación y en 1695, le dio el nombre de vis viva o <fuerza viva>. La

proposición de Huygens es un reconocimiento de la conservación de la vis viva en ciertas colisiones ideales. Así, para la colisión entre dos cuerpos quedaría que.

$$ma Va1 + mb Vb1 = ma Va2 + mb Vb2 (1)$$

y

$$maV^2 a1 + mbV^2 b2 = maV^2 a2 + mbV^2 b2 (2) \quad (\text{Arons, 1970, p. 406}).$$

Ahora bien, como tal, la Ley de Conservación y Transformación de la Energía descubierta en el siglo XIX fue el resultado del aporte de tres científicos que trabajaron en la teoría de la equivalencia entre el calor y la energía. Robert Mayer (1814-1878), James P. Joule (1818-1889) y Herman Hemholtz (1821-1894).

Mayer presentó numerosos ejemplos de conversión de <fuerzas> (energías) y de su indestructibilidad, hasta generalizar los resultados en la primera formulación escrita del principio de conservación de las <fuerzas> (energías).

Según sus palabras:

...podemos decir que las causas son cuantitativamente indestructibles y cualitativamente convertibles... Las <fuerzas> (energías) son, por tanto, entidades indestructibles y convertibles... En innumerables casos vemos que el movimiento cesa sin haber causado otro movimiento o el levantamiento de un peso; pero una fuerza (energía) una vez en existencia no puede ser aniquilada, puede solamente cambiar su forma y la cuestión aparece, ¿qué otras formas es capaz de tomar la fuerza, con las cuales nos hemos familiarizado como con la fuerza de caída (energía potencial) y de movimiento (energía cinética)? (citado por Arons, 1970, p. 454)

De acuerdo con Joule, en Conferencia impartida en Manchester en 1847, éste afirmó:

Nosotros hemos demostrado, sin embargo, que el calor puede ser convertido en fuerza viviente (energía cinética) y en atracción a través del espacio (energía potencial)... El movimiento del aire que llamamos <viento> resulta principalmente del intenso calor de la zona tórrida comparada con la temperatura de las zonas templada y fría. Aquí tenemos un ejemplo de calor que se convierte en la fuerza viviente de las corrientes de aire. Estas corrientes de aire, en su progreso a través del mar, levantan sus olas y empujan los barcos; mientras que al pasar por tierra agitan los árboles y perturban toda brizna de hierba. Las olas por su violento movimiento, los barcos por su paso a través de un medio resistente, y los árboles por el frotamiento de sus ramas y la fricción de sus hojas contra ellas mismas y el aire, todas y cada una de ellas generan un calor equivalente a la disminución de la fuerza viviente del aire que ocasionan. El calor así restituido puede nuevamente contribuir a producir nuevas corrientes de aire y en esta forma los

fenómenos pueden ser repetidos en sucesión y variedad sin fin...En realidad, los fenómenos de la naturaleza, ya sean mecánicos, químicos o vitales, consisten casi completamente en una conversión continua de atracción a través del espacio, fuerza viviente y calor de una a otra. En esta forma se mantiene el orden en el universo, nada es destruido, nada es perdido para siempre, sino que toda la maquinaria, complicada como es, trabaja suave y armoniosamente. (cit. por Arons, 1970, pp. 458-459)

La paternidad de la Ley de Conservación de la Energía generó discrepancias fuertes entre Mayer y Joule, aunque finalmente se le dio el crédito al primero.

Joule escribe que:

...Parece que Mayer se precipitó en publicar sus teorías con el propósito expreso de asegurarse la prioridad. No esperó a poder apoyarlas con hechos. Mi marcha, por el contrario, fue publicar solamente las teorías que había comprobado experimentalmente antes de presentarlas al público científico, bien convencido de la verdad de la observación. (Holton, G., 1989c)

Helmholtz, defendiendo a Mayer, escribe:

...Pero la fama del descubrimiento pertenece a aquel que halló la nueva idea; la investigación experimental representa un logro mucho más mecánico. Tampoco puede pedirse que el inventor de una idea tenga la obligación de efectuar la segunda parte de la empresa. De ser esto así, habría que despedir a la mayor parte de los físicos matemáticos. (Holton, G., 1989c)

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA Y LA LÓGICA FORMAL SIN CUANTIFICADORES

Para explicar la ley de conservación de la energía mecánica utilizando la lógica formal sin cuantificadores, podemos estructurar el argumento en forma de proposiciones y deducciones lógicas claras. La ley de conservación de la energía mecánica establece que en un sistema aislado, la energía mecánica total (la suma de la energía cinética y la energía potencial) permanece constante a lo largo del tiempo, siempre que no haya fuerzas externas realizando trabajo sobre el sistema.

Proposiciones

1. **Proposición A:** La energía mecánica total de un sistema es la suma de su energía cinética y su energía potencial.

- $E_m = E_k + E_p$

2. **Proposición B:** La energía cinética de un objeto depende de su masa y su velocidad.

- $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

3. **Proposición C:** La energía potencial de un objeto depende de su posición en un campo de fuerzas (por ejemplo, gravedad).

- $E_p = mgh$ (en el caso de un campo gravitacional)

4. **Proposición D:** En un sistema aislado, no hay trabajo realizado por fuerzas externas.

5. **Proposición E:** Si no hay trabajo realizado por fuerzas externas, puede asegurarse que el sistema está aislado, por lo tanto la energía total del sistema se conserva.

Argumento Lógico

1. **Premisa 1:** La energía mecánica total de un sistema es la suma de su energía cinética y su energía potencial. (De Proposición A)

2. **Premisa 2:** La energía cinética y la energía potencial son funciones de las condiciones del sistema (masa, velocidad, altura). (De Proposición B y Proposición C)

3. **Premisa 3:** En un sistema aislado, no hay trabajo realizado por fuerzas externas. (De Proposición D)

4. **Premisa 4:** Si no hay trabajo realizado por fuerzas externas, entonces la energía total del sistema no cambia. (De Proposición E)

5. **Conclusión:** Por lo tanto, la energía mecánica total del sistema permanece constante a lo largo del tiempo.

Resumen

En resumen, hemos utilizado proposiciones y deducciones lógicas para demostrar que, en un sistema aislado donde no se realiza trabajo por fuerzas externas, la energía mecánica total (suma de energía cinética y potencial) se conserva. Este razonamiento lógico permite entender la ley de conservación de la energía mecánica sin necesidad de utilizar cuantificadores ni entrar en detalles matemáticos complejos.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA Y LA LÓGICA FORMAL CON CUANTIFICADORES

Para explicar la ley de conservación de la energía mecánica utilizando la lógica formal con cuantificadores, podemos estructurar el argumento usando variables y cuantificadores que representen las propiedades de los objetos en un sistema físico. La ley de conservación de la energía mecánica establece que, en un sistema aislado, la energía mecánica total permanece constante a lo largo del tiempo.

Definiciones y Proposiciones

1. **Definición de Energía Mecánica:**

- Sea $E_m(t)$ la energía mecánica total de un sistema en el tiempo t .

- $E_k(t)$: Energía cinética en el tiempo t .

- $E_p(t)$: Energía potencial en el tiempo t .
- Entonces, la energía mecánica total se define como:

$$E_m(t) = E_k(t) + E_p(t)$$

2. Cuantificadores:

- Usaremos \forall (*para todo*) y \exists (*existe*) para expresar las propiedades de los objetos en el sistema.

Proposición Formal

1. **Proposición 1:** Para todo objeto i en un sistema aislado, existe una función que determina su energía cinética y potencial:

$$\forall i (E_k(i, t) = 1/2 m_i v_i^2) \wedge (E_p(i, t) = m_i g h_i)$$

2. **Proposición 2:** En un sistema aislado, no hay trabajo realizado por fuerzas externas:

$$W_{\text{externo}} = 0$$

3. **Proposición 3:** Si no hay trabajo realizado por fuerzas externas, entonces la energía mecánica total se conserva:

$$W_{\text{externo}} = 0 \Rightarrow E_m(t_1) = E_m(t_2) \quad \forall t_1, t_2$$

Argumento Lógico

1. **Premisa 1:** Para todo instante de tiempo t , la energía mecánica total es la suma de la energía cinética y la energía potencial:

$$E_m(t) = \sum_i E_k(i, t) + E_p(i, t)$$

2. **Premisa 2:** Para todo objeto i , existe una relación que define su energía cinética y potencial en función de su masa, velocidad y altura:

$$E_k(i, t) = 1/2 m_i v_i^2 \wedge E_p(i, t) = m_i g h_i$$

3. **Premisa 3:** En un sistema aislado, para todo *tiempo* t_1 y t_2 , si no hay trabajo externo, entonces:

$$W_{\text{externo}} = 0 \Rightarrow E_m(t_1) = E_m(t_2)$$

4. **Conclusión:** Por lo tanto, para todo *tiempo* t_1 y t_2 :

$$E_m(t_1) = E_m(t_2)$$

Esto implica que la energía mecánica total se conserva a lo largo del tiempo.

Resumen

Utilizando lógica formal con cuantificadores, hemos establecido que en un sistema aislado, la energía mecánica total se mantiene constante a lo largo del tiempo. Esto se fundamenta en las definiciones de energía cinética y potencial, así como en la condición de que no hay trabajo realizado por fuerzas externas. La estructura lógica permite formalizar la ley de conservación de la energía mecánica de manera rigurosa.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA Y LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO

La teoría del conocimiento se ocupa de la naturaleza, el origen y el alcance del conocimiento. Al aplicar esta teoría a la ley de conservación de la energía mecánica, podemos analizar cómo adquirimos conocimiento sobre esta ley utilizando conceptos, juicios y razonamientos. Aquí te presento una estructura que integra estos elementos.

1. Conceptos

Los conceptos son las ideas fundamentales que nos permiten entender y categorizar la realidad. En el contexto de la conservación de la energía mecánica, algunos conceptos clave son:

- **Energía:** La capacidad de realizar trabajo o provocar cambios en un sistema.
- **Energía mecánica:** La suma de la energía cinética y la energía potencial en un sistema.
- **Sistema aislado:** Un sistema que no intercambia energía ni materia con su entorno.
- **Trabajo:** La transferencia de energía que ocurre cuando una fuerza actúa sobre un objeto a lo largo de una distancia.

2. Juicios

Los juicios son afirmaciones que expresan relaciones entre conceptos. En este caso, podemos formular varios juicios sobre la ley de conservación de la energía mecánica:

- **Juicio 1:** "En un sistema aislado, la energía mecánica total permanece constante." (Este juicio expresa una relación entre el concepto de sistema aislado y el concepto de conservación de energía).
- **Juicio 2:** "La energía cinética y la energía potencial pueden transformarse entre sí sin pérdida de energía en un sistema aislado." (Este juicio relaciona los conceptos de energía cinética y potencial).

3. Razonamientos

El razonamiento es el proceso mediante el cual conectamos nuestros juicios para llegar a conclusiones o inferencias. Hay diferentes tipos de razonamientos que podemos utilizar:

- **Razonamiento deductivo:** Parte de premisas generales para llegar a conclusiones específicas. Por ejemplo:
 - Premisa 1: "En un sistema aislado, no hay trabajo realizado por fuerzas externas."
 - Premisa 2: "La energía mecánica total es la suma de la energía cinética y potencial."
 - Conclusión: "Por lo tanto, en un sistema aislado, la energía mecánica total se conserva a lo largo del tiempo."
- **Razonamiento inductivo:** Se basa en observaciones específicas para llegar a conclusiones generales. Por ejemplo:
 - Observación 1: Al soltar una pelota desde cierta altura, su energía potencial se convierte en energía cinética al caer.

- Observación 2: En múltiples experimentos, la suma de la energía cinética y potencial se mantiene constante.
- Conclusión: "Podemos inferir que en todos los sistemas aislados, la energía mecánica total se conserva."

Integración de Conceptos, Juicios y Razonamientos

Al aplicar la teoría del conocimiento a la ley de conservación de la energía mecánica, podemos seguir este proceso:

1. **Identificación de conceptos:** Reconocemos y definimos los conceptos relevantes (energía, sistema aislado, trabajo).
2. **Formulación de juicios:** Construimos juicios que relacionen estos conceptos y expresen nuestras creencias sobre cómo funciona el mundo físico.
3. **Desarrollo de razonamientos:** Utilizamos razonamientos deductivos e inductivos para validar nuestros juicios y construir una comprensión más profunda de la ley.

Conclusión

La teoría del conocimiento nos permite estructurar nuestra comprensión de la ley de conservación de la energía mecánica mediante el uso de conceptos claros, juicios bien formulados y razonamientos lógicos. Esto no solo nos ayuda a entender mejor esta ley física, sino que también nos proporciona un marco para evaluar cómo adquirimos y validamos nuestro conocimiento en general.

EPÍLOGO

Para este epílogo, lo mejor, según los autores, es hacerlo según tópicos como se muestran a continuación.

1. Evolución del Pensamiento Científico: La historia de la física, tal y como fue abordado en este libro, nos muestra un desarrollo continuo del pensamiento científico, desde las primeras teorías de Aristóteles hasta las formulaciones modernas de la mecánica cuántica y la relatividad. Este recorrido evidencia cómo el conocimiento se construye sobre los cimientos de teorías anteriores, resaltando la importancia de la crítica y la revisión constante en el avance del saber.

2. Leyes de la Mecánica como Fundamento: Las leyes de la mecánica, formuladas por Newton y posteriormente ampliadas por otros físicos, mostradas en este libro, constituyen principios fundamentales que rigen el comportamiento de los cuerpos en movimiento. Estas leyes no solo son herramientas prácticas para la predicción de fenómenos físicos, sino que también representan un modelo lógico que puede ser analizado y validado a través de la lógica formal.

3. Lógica Formal y Cuantificadores: La lógica formal, a través de su estructura rigurosa y el uso de cuantificadores, utilizados para cada ley de la mecánica expuesta en este libro, permite establecer juicios precisos sobre los fenómenos físicos. La distinción entre cuantificadores universales y existenciales enunciados permite formular teorías que pueden ser validadas o refutadas, contribuyendo así al desarrollo del conocimiento científico.

4. Juicios y Razonamientos en la Ciencia: La capacidad de formular juicios basados en observaciones empíricas, sobre las leyes de la mecánica expresadas en este libro, es crucial en la ciencia. Los razonamientos inductivos y deductivos se complementan en el proceso científico, donde la inducción permite generalizar a partir de casos particulares, mientras que la deducción proporciona un marco para aplicar leyes generales a situaciones específicas.

5. Teoría del Conocimiento: La teoría del conocimiento, aplicada a las leyes de la mecánica estudiadas en este libro, nos invita a reflexionar sobre la naturaleza del saber científico. La relación entre sujeto y objeto, así como el papel de la percepción y la interpretación, son elementos clave que influyen en cómo se construye el conocimiento en física. El escepticismo y el realismo científico son posturas que enriquecen este debate, proponiendo diferentes visiones sobre lo que constituye el conocimiento verdadero.

6. Interconexión de Disciplinas: Finalmente, es fundamental reconocer que la interconexión entre la historia de la física, las leyes de la mecánica, la lógica formal y la teoría del conocimiento enriquece nuestra comprensión del mundo. Cada disciplina

aporta herramientas y perspectivas que permiten un análisis más profundo y una mejor comprensión de los fenómenos naturales.

Si lo anterior fue logrado en este libro, entonces estamos muy satisfechos con el mismo. Solo ustedes, los lectores, tienen la última palabra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alamino, D. J. (2005). Giordano Bruno: varias lecturas de una vida y un pensamiento. Palabra Nueva, Revista de la Arquidiócesis de La Habana, XIV (144), p. 62.
- Altshuler, J. (1966). Galileo IV Centenario. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.
- Arias Gallegos, W.L. (2004). Antecedentes y evolución de la psicología materialista: un estudio histórico. Revista Cubana de Psicología. V.21. Nro.1
- Aristóteles (1995). Física. PLANETA De AGOSTINI © Editorial Gredos, S.A. Biblioteca Clásica Gredos
- Arons, A. B (1970). Evolución de los conceptos de la Física. México: Trillas.
- Contreras Vidal, J.L; Benvenuto Pérez; E.R; Sifredo Barrios, C; Rivero Pérez, H.R; Pedraza González, X. (2019). La Teoría de la Omisión y su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física. ISBN: 978-959-7225-42-3 Editorial Académica Universitaria (Edacun) Universidad de Las Tunas.
- Copérnico, N. (1994). De Revolutionibus Orbium Coelestium libri VI (1543). "Sobre las Revoluciones de los Orbes Celestes", Barcelona: Altaya.
- Copi, I y Cohen, C. (2011). Introduction to Logic (14th ed.). Pearson.
- Copi, I y Cohen, C. (1999). Introducción a la lógica. Octava edición del inglés. México, Limusa.
- Daniushenkov, V. y Corona, N. (1991). Historia de la Física. La Habana: Pueblo y Educación.
- Einstein, A. y Infeld, L. (1961). La física, aventura del pensamiento: el desarrollo de las ideas desde los primeros conceptos hasta la relatividad y los cuantos". Editorial Losada, Colección Ciencia y Vida, Buenos Aires, 1961, 254 p., ISBN 950-03-0195-4
- Enderton, H. B. (2001). A Mathematical Introduction to Logic. Harcourt/Academic Press.
- Gingerich, O. (1993). Kepler's Place in Astronomy, selección N.º 19 en The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler, New York: American Institute of Physics Press.
- González, M. C. (2009). La enseñanza de la Lógica en Cuba, un acercamiento a sus orígenes. Varona, (48-49), 73-78.
- González, M. C. (2007). Lógica y creatividad, un acercamiento a su relación. Varona, (44), 44- 51.
- Holton, G. (1952). Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Barcelona: Reverté S.A.

- Holton, G (1989a). Las leyes de Newton y su sistema del mundo. Lectura tomada del libro "Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas". Revisada y ampliada por Stephen G. Brush, University of Maryland. Versión española por J.J. Aguilar Peris Universidad Complutense de Madrid. "2ª. Edición corregida y revisada" EDITORIAL REVERTÉ, S.A. Adaptación por Gustavo E. Sánchez A. Universidad Javeriana Cali.
- Holton, G (1989b). Galileo y la Nueva Astronomía. Lectura tomada del libro "Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas". Revisada y ampliada por Stephen G. Brush University of Maryland. Versión española por J. J. Aguilar Peris Universidad Complutense de Madrid. "2ª Edición corregida y revisada" EDITORIAL REVERTÉ, S.A. Adaptación por Gustavo E. Sánchez A. Universidad Javeriana Cali.
- Holton, G (1989c). Ley de conservación de la energía. Lectura tomada del libro "Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas". Revisada y ampliada por Stephen G. Brush, University of Maryland. Versión española por J.
- Holton, G., Rutherford, F.J. y Watson, F. G. (1971). About the Project Physics Course. An Introduction to the Project Physics Course. Recuperado de [fep.if.usp.br/~profis/.../ aboutprojectphysharvard00fjam.pdf](http://fep.if.usp.br/~profis/.../aboutprojectphysharvard00fjam.pdf)
- Hurley, P. J. (2015). A Concise Introduction to Logic (12th ed.). Cengage Learning.
- Huth, M., Ryan, D. (2004). Logic in Computer Science: Modelling and Reasoning about Systems (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Hooke, R. (1674). An attempt to prove the motion of the earth from observations, made by Robert Hook fellow of the R. Society. London in 4. printed for J. Martyn at the bell in St. Pauls Church yard, 1674 *Phil. Trans. R. Soc.* 912–20 <http://doi.org/10.1098/rstl.1674.0007>
- Kepler, J. (1992). *Astronomia Nova* (M. A. M. G. de la Vega, Trans.). Ediciones Istmo. (Original work published 1609).
- Kepler, J. (1997). *Harmonices Mundi* (C. G. W. de la Vega, Trans.). Ediciones Istmo. (Original work published 1619).
- Kursanov, G. (1979). *Problemas fundamentales del Materialismo Dialéctico*. La Habana: Ciencias Sociales
- Lederman, L. (2003). The Role of Physics in Education. Trabajo presentado en VIII Interamerican Conference on Physics Education. La Havana, Cuba.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias*, p. 257

- Maza Sancho, J. (2016). Isaac Newton (1643-1727) y la Ley de Gravitación Universal. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Astronomía. Universidad de Chile. Curso EH2801
- Maldonado, M. E. (2001). Teorías psicológicas del aprendizaje. Universidad de Cuenca.
- Newton, I (1952). Opticks or A treatise of the refletions, refractions, inflexions and colours of light. Dover Publication, Inc.
- Newton, I (1687). Philosophiæ naturalis principia mathematica. Traducción: Eloy Rada
Retoque de cubierta: casc. Editor digital: casc ePub base r1.2
- Pérez Hernández, C (1998). Hume, intérprete de Newton. Tesis Doctoral dirigida por el Dr. D. Jaime de Salas Ortueta Catedrático del Departamento de Fiosofia IV MADRID.
- Resnick, Halliday y Krane, (2002). *Física*. Vol I. México. Editorial Cecsca.
- Rosental, M., y P. Ludin (1981): Diccionario filosófico, Edición revolucionaria, La Habana, Cuba.
- Rufus, W.C (1931). Kepler as an Astronomer, en Johann Kepler, 1571-1630, A Tercentenary Commemoration of His Life and Work, Baltimore, Maryland: The Williams & Wilkins Company, pp. 35-36.
- Ruggiero, V. R. (2015). Critical thinking: A beginner's guide. Routledge.
- Seeger, R. J. (1964). On Teaching the History of Physics. American Journal of Physics, 32.
- Swerdlow, N. (1995). *The Origins of the Copernican Revolution*. Nueva York: Springer.
- Trigo Aranda, V (s/f). Isaac Newton. Autores científico-técnicos y académicos.
- Varona, E. J. (1902). Nociones de Lógica. Tomo I. Editorial Biblioteca del Maestro Cubano.
- Westfall, R. S. (1993.). Isaac Newton: Una vida. Recuperado de www.librosmaravillosos.com/newtonunavida/.../Newton%20Una%20vida%20-%20## **1. Conceptos**

Física y Razón

Un viaje a través de
la Historia, la Lógica
formal y la Teoría
del conocimiento



JORGE LUIS CONTRERAS VIDAL

JUSTO JESÚS CARRERAS GÓMEZ

DIANNY ALEXANDRA VÉLEZ VERA

MARITZA KATHERINE BARRE CEVALLOS

LEONELA ANGÉLICA ORTIZ SANTOS

XENIA PEDRAZA GONZÁLEZ

Durante nuestra vida profesional, como profesores de Física en todos los niveles de enseñanza, hemos tropezado con estudiantes que luego de recibir una clase sobre algunas de las leyes de la Física, se nos acercan para que les expliquemos la vía que utilizamos durante nuestra exposición en clase. Cuando lo hacemos, nos dicen orgullosos que “ahora sí entendimos”.



EDICIONES
GESICAP

ISBN: 978-9942-626-26-4



9 789942 626264