



La enseñanza del concepto de fuerza: algunas reflexiones

Rolando A. Díaz-Delgado ^a, Darío A. Maringer-Duran ^b

^a Departamento de estudios pedagógicos, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad de Chile, Ignacio Carrera Pinto 1025, Ñuñoa, Santiago, Chile

^b Departamento de estudios pedagógicos, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad de Chile, Ignacio Carrera Pinto 1025, Ñuñoa, Santiago, Chile 2

ARTICLE INFO

Received: 15 de enero de 2021

Accepted: 30 de abril de 2021

Available on-line: 31 de mayo de 2021

Keywords: concepto de fuerza, ideas previas, enseñanza de la Física

E-mail addresses:
rolandodiaz@uchile.cl
alberto.maringer@u.uchile.cl

ISSN 2007-9847

© 2021 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

A revision of some key issues and their influence in learning and teaching force concept and Newton's laws are presented. It was revised the presence of those and the way they have been taught throughout Chilean's national curriculum. Inquiring into physics' school text books, common students' misconceptions, teaching strategies, and the history behind Newton's laws, spread light to suggest a non-traditional teaching strategy in this matter. It starts upside down; firstly, action-reaction principle (third law), then relation between force and linear momentum's change (second law), and finally inertia principle (first law). A phenomenological approach was systematically used to promote student's interest and motivation to learn. Finally, teaching experimental activities are presented as examples to follow up this approach. This is not the first attempt to change this, close to indisputable, order of Newton's law, however it is a promising area to further research.

En este trabajo se hace una revisión de diversos aspectos que influyen directamente en el proceso de enseñanza y aprendizaje del concepto de fuerza y de las leyes de la mecánica clásica de Newton. Entre ellos se analizan su presencia en el currículo, su evolución histórica, las ideas previas más frecuentes del estudiantado, las formas y procedimientos de enseñanza más empleadas según los libros de texto más comunes. Como resultado de este estudio y de las experiencias personales de los autores, se propone una estrategia no tradicional de enseñanza de las leyes de Newton. Se sugiere comenzar por la ley de acción y reacción (tercera ley), pasar luego a la relación entre fuerza y cambio en el tiempo del momento lineal (segunda ley) y finalizar con la ley de la inercia, empleando sistemáticamente un enfoque fenomenológico que facilite y promueva la motivación y el interés por aprender del estudiantado. Se incluyen algunas sugerencias de actividades prácticas y de carácter experimental acordes con el enfoque propuesto. Esta no es la primera vez que se sugiere el cambio del orden en que se enseñan las leyes de Newton, pero es un área prometedora para futuras investigaciones.

I. INTRODUCCIÓN

La comprensión del concepto de fuerza tiene gran importancia en el aprendizaje de las leyes de la mecánica clásica o mecánica Newtoniana. Por otra parte, la fuerza como fenómeno físico está muy presente en la vida cotidiana de todas las personas, por lo que su comprensión tiene significación, connotación y consecuencias muy frecuentes y diversas en el diario vivir. Estas son algunas de las razones por la que el proceso de enseñanza y aprendizaje de este concepto hay que abordarlo con seriedad y profundidad.

En el currículo chileno actual aparece por primera vez el tratamiento explícito del concepto de fuerza en el nivel de cuarto año básico (MINEDUC, 2013) donde se abordan los contenidos fuerza de roce (arrastrando objetos), peso (fuerza de gravedad) y fuerza magnética (en imanes), además del efecto de deformación de los materiales por medio de

fuerzas, el uso del dinamómetro para medir fuerzas en situaciones estáticas y el efecto de las fuerzas en el cambio del estado de movimiento de un cuerpo (rapidez, dirección del movimiento). Más adelante, 3 años después, no es hasta el nivel de séptimo año básico que se vuelve a trabajar el tema de los efectos de las fuerzas gravitacional, de roce y elástica, entre otras, en situaciones cotidianas (MINEDUC, 2016). Luego de 3 años más, en el nivel de segundo medio (MINEDUC, 2011), equivalente al décimo año de educación, se retoma con mayor formalidad el estudio de los efectos del peso, la fuerza de roce, la fuerza normal y la tensión, así como de las leyes de Newton. Finalmente, en el último nivel de la enseñanza media equivalente al nivel del duodécimo año de educación, es donde se abordan con mayor profundidad las características de las fuerzas eléctrica y magnética, se identifican las fuerzas fundamentales de la naturaleza (gravitacional, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte), se discuten las situaciones en que predomina cada una y se caracterizan las fuerzas nucleares débiles y fuertes (MINEDUC, 2015). El fundamento pedagógico de esta concepción como desarrollo progresivo en espiral del currículo, se indica por Harlen (2010), lo que coincide con la opinión autorizada de Sanmartí (1997).

Puede pensarse que el intervalo de tiempo y de nivel de maduración del pensamiento de los estudiantes desde el cuarto básico, en que se enfrentan por primera vez con el concepto de fuerza desde el punto de vista de la Física, al séptimo básico y después hasta el segundo medio donde lo abordan de manera bastante más formal, es un poco largo. Los autores de este documento consideran que esta es una razón más de gran importancia, entre otras varias, para otorgarle al proceso de enseñanza y aprendizaje de dicho concepto una atención preferencial.

Por todo lo señalado es que los autores de este estudio decidieron hacer una revisión de varios aspectos que pueden contribuir a facilitar y mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje del concepto de fuerza y de las leyes de Newton. Se ha encontrado en la literatura sobre estos temas que la incorporación en el diseño de clases de algunos aspectos de la evolución histórica de cómo se construyó este concepto, la importancia de considerar las ideas previas del estudiantado y el empleo de una aproximación fenomenológica que tenga en cuenta los intereses y el contexto socio – cultural de los estudiantes, son factores que pueden contribuir a facilitar el aprendizaje significativo de los temas mencionados. En consecuencia, los autores consideran apropiado sugerir el empleo de un enfoque no tradicional para su enseñanza e incorporar en este documento su fundamentación y descripción detallada.

Como se apreciará, la propuesta de enseñanza se fundamenta en los siguientes y consecutivos aspectos: proceso histórico de comprensión del fenómeno o concepto, detección y comprensión de las ideas previas, relevancia del análisis del fenómeno en experiencias cada vez más sofisticadas, y uso de estos elementos en una propuesta de aprendizaje. El hilo histórico que se muestra permite establecer las dificultades y desafíos enfrentados por los pensadores y científicos para ir superando las concepciones (modelos) a lo largo de la historia. Esto posteriormente orientará el análisis de los conocimientos o ideas previas en relación a las leyes de Newton y los modelos – así como sus fundamentos y ejemplos - detectados en relación a las ideas predecesoras en relación a la Fuerza. A continuación, se incluye un elemento que se detecta a lo largo de la historia en el avance de la Física en general: observar la naturaleza y su acción (análisis fenomenológico) orientado a su potencial uso como herramienta de aprendizaje en la propuesta que finalmente se elabora al final de este artículo.

Esta propuesta se ha basado en lo informado en la documentación consultada y se apoya, por una parte, en las experiencias personales de los autores como docentes de Física en diversos cursos y niveles y, por otra, en las experiencias observadas por nuestros alumnos en la práctica profesional durante su formación inicial en preparación como docentes de Física. Finalmente, se sugiere el uso de algunas experiencias y experimentos para realizar en la sala de clase, que se explican con cierto detalle.

II. EL ENFOQUE HISTÓRICO

La consideración de emplear el enfoque histórico del desarrollo del pensamiento científico en la aproximación didáctica del proceso de enseñanza y aprendizaje de conceptos de física en particular (Texeira, Greca y Freire, 2012; Andreou y

Raftopoulos, 2011) y de Ciencias y naturaleza de la Ciencia en general (Matthews, 1994; Yip, 2006) está avalada por diferentes estudios e investigaciones.

El uso de este enfoque en las clases de Física para trabajar el concepto de fuerza y sus características fundamentales presenta dos aspectos que pueden resultar muy favorables para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje del mismo. Por una parte, puede promover y motivar en el estudiantado el reconocimiento de la evolución histórica y la influencia del contexto social en la formación del pensamiento científico, de modo que puedan apreciar cómo han ido cambiando las ideas y los razonamientos a lo largo del tiempo y que los conocimientos actuales son el resultado de un largo proceso de avances y retrocesos. Por otra parte, el conocimiento de las ideas que sobre la fuerza tuvieron diversos pensadores a lo largo de la historia, puede facilitar la identificación de ideas similares en el estudiantado (Pozo y Carretero, 1987; Solano y otros, 2000; Mora y Herrera, 2009) y ayudar en el tratamiento de dificultades de carácter epistemológico en la comprensión de este concepto.

Para contribuir al conocimiento de los docentes en este ámbito, se describe en un breve resumen la evolución histórica del concepto de fuerza hasta el aporte del genial Newton.

Existe consenso en que el origen de la evolución histórica del concepto de fuerza se puede ubicar en la interpretación de carácter mágico y místico de las fuerzas naturales por parte de los pueblos primitivos, que posteriormente pasa a un nivel más elaborado en la cultura griega con las concepciones que se han denominado actualmente como la física del sentido común (Rivera y otros, 2014).

El filósofo de la antigua Grecia, Aristóteles (384 a. C. - 322 a. C.), dejó registro de sus ideas sobre la Naturaleza (Physis) en una obra de 8 libros (FCO-HC, 2019), en la que utilizó el término “causa eficiente” como la determinante originaria de todo cambio, siendo un antecedente de lo que en la actualidad se conoce como fuerza en un movimiento. Según Aristóteles el reposo es el estado natural de los cuerpos y para que un cuerpo se mueva debe estar presente una causa, si ésta no persiste el cuerpo se detiene. Consideraba que los cuerpos pesados caen de forma natural, de lo que infería que la causa radicaba en el interior del objeto, además consideraba que la acción sobre un cuerpo solo se producía por contacto directo, no concebía la acción a distancia. Para explicar el movimiento de un proyectil que se mantiene en vuelo durante un cierto tiempo después del lanzamiento pensó, empleando una argumentación bastante compleja que se denominó antiperístasis, que la causa estaba en el entorno, en el aire. En resumen, según Aristóteles las leyes del movimiento se reducen a lo siguiente: para que un cuerpo adquiriera una velocidad es necesario aplicar una acción mayor a la resistencia, noción bastante intuitiva, por cierto, para mover algo hay que empujarlo y el movimiento se inicia luego que el empuje sobrepasa un cierto valor. Las condiciones culturales e histórico – sociales imperantes, contribuyeron a que las concepciones de este filósofo tuvieran un impacto de increíble largo alcance con la vigencia de sus ideas durante 18 siglos aproximadamente.

El gran inventor, ingeniero, físico y matemático de la Antigüedad Clásica, nacido en Siracusa (Sicilia) y llamado Arquímedes (287 a.C.-212 a. C), es considerado como el primero en describir el concepto de fuerza, como aparece en su tratado llamado “Sobre los Cuerpos Flotantes”, donde en la proposición 5 indica la forma de valoración de la fuerza de empuje (Becerra, H. y otros, 2006).

El más destacado astrónomo griego de la antigüedad, Hiparco de Nicea (190 a. C.-120 a. C), consideró unos dos siglos después de Aristóteles que el movimiento posterior al lanzamiento de un proyectil se debía a la transmisión de la fuerza aplicada por el lanzador al propio proyectil y le llamó fuerza impresa, considerándola como una fuerza interna que se almacenaba en el proyectil. Más tarde en la Edad Media temprana, el teólogo bizantino Juan Filópono o Filopón (Benítez y Robles, 2000) de la escuela de Alejandría empleó la misma concepción de fuerza impresa para explicar el movimiento de los proyectiles y por primera vez trató de establecer una relación matemática de la fuerza relacionándola con la velocidad y peso del proyectil. Consideraba que bajo la acción de una fuerza determinada un cuerpo se movía con una velocidad que resultaba inversamente proporcional a su peso y que si un cuerpo se movía con una velocidad determinada se trasladaba en contra de la resistencia del aire una distancia directamente proporcional a su peso. Estas ideas fueron retomadas a fines de la Edad Media por Juan Buridán, lo que se conoce como la teoría del ímpetu, para explicar el movimiento de los proyectiles en oposición a la concepción aristotélica. Se considera que esta concepción es

precursora de la idea de Galileo sobre la inercia y del concepto de cantidad de movimiento o momento lineal (Prieto-López, 2009).

Ya en la época del Renacimiento se destaca la concepción de fuerza de William Gilbert (1544-1603) que concibió para explicar los fenómenos magnéticos y eléctricos. En 1600 Gilbert en su obra cumbre *De Magnete* consideraba a la Tierra como un enorme imán y explicaba la caída de los cuerpos por la atracción magnética de nuestro planeta y suponía que las fuerzas que mantienen a los planetas girando en torno al Sol eran de atracción magnética. Las ideas de Gilbert tuvieron gran influencia en el pensamiento de Kepler, Gassendi, Galileo y Newton. En 1621 Kepler ya concibe la fuerza como algo relacional y sustancial (en el sentido no espiritual, no como un alma) ya que descubre que la velocidad de los planetas en el recorrido de sus órbitas no es constante y varía con la variación de la distancia al Sol de modo que interpretó que la fuerza de atracción, como causa del movimiento de los planetas, disminuía con el aumento de la distancia al planeta de la misma forma en que la luz del Sol disminuye su intensidad con el aumento de la distancia.

El último de los grandes pensadores del Renacimiento fue el extraordinario Galileo Galilei (1564-1642), personaje fundamental en la historia de la ciencia y uno de los fundadores de la mecánica clásica. Según Rivera y otros (2014) el pensamiento de Galileo sobre la fuerza transitó por tres etapas o estadios. En la primera (periodo aristotélico) concebía la fuerza como algo que tiende a mover a un cuerpo en un sentido contrario a aquél en que se trasladaría según su movimiento natural. En la segunda (identificación con la teoría del ímpetu) intentó desarrollar de forma coherente y completa la dinámica de la fuerza impresa o teoría del ímpetu bajo el influjo de la obra *Especulaciones matemáticas y físicas* (1585) de Giambattista Benedetti (1530 – 1590) con un enfoque de formalización matemática, rompiendo decididamente con las ideas de Aristóteles. A partir de este enfoque es que Galileo llega a la conclusión que debe superar tanto las ideas aristotélicas como las de la fuerza impresa pues la noción de ímpetu no le permitía desarrollar coherentemente la matematización del movimiento. En la tercera y última etapa de la evolución de su pensamiento (periodo de maduración de la Física moderna en su época), Galileo se eleva a una concepción cada vez más abstracta en la que se va a manifestar su intuición y genialidad creadora y también va a marcar el nuevo rumbo de la ciencia. Aparece entonces en Galileo la idea de pasar del móvil real y concreto que se mueve en un espacio también real y concreto, a un espacio abstracto euclidiano y un cuerpo sujeto a un movimiento también abstracto. De esta forma surge la concepción de idealización de los fenómenos físicos para facilitar su modelación matemática, recurso ampliamente usado en el desarrollo posterior de la Física. Según Prieto-López (2009) esto podría ser la causa de que “la mayor parte de los experimentos físicos de Galileo son en realidad experimentos del pensamiento, es decir, experimentos matemáticos”.

Esto se aprecia claramente en un fragmento de su obra “Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo Ptolemaico y Copernicano” que se publicó en 1632 donde Galileo emplea el recurso de plantear un diálogo entre tres personajes Simplicio (que representa el punto de vista aristotélico), Salviati (que representa los nuevos puntos de vista de Galileo) y Sagredo (que representa a un hombre no comprometido, de mentalidad abierta y con grandes deseos de aprender) para presentar la construcción de un experimento mental, mediante la idealización de las condiciones del mundo físico real. Este procedimiento conduce a la noción de la inercia que permite formular un nuevo concepto de fuerza bajo un enfoque dinámico, entendida como causa del cambio del estado del movimiento de un cuerpo. Establece que un cuerpo que desliza o rueda por un plano liso y perfectamente pulido, mantendrá su movimiento indefinidamente y si este cuerpo desliza sobre una superficie inclinada sufrirá la acción de una fuerza que le produce aceleración, bien a favor (con inclinación favorable) o bien en contra (con inclinación desfavorable). De acuerdo con este concepto de fuerza de Galileo, el estado natural de los objetos no es ya exclusivamente el reposo sino también cualquier movimiento rectilíneo y uniforme que en ausencia de fuerzas externas permanece inalterable. Según la concepción de Galileo, la inercia no es una tendencia de los objetos al reposo, sino una tendencia a mantener su estado de movimiento o de reposo. Realmente en la experiencia cotidiana un objeto que se desliza sobre una superficie horizontal va perdiendo velocidad y acaba por detenerse, pero ello es debido a que sobre el objeto se ejerce una fuerza contraria al sentido de la velocidad mientras se está deslizando, que es la fuerza de rozamiento. Debido a este comportamiento real del movimiento de los cuerpos es que el razonamiento de Galileo y su enfoque de pasar del mundo real al matemático mediante la abstracción evidencia su genialidad creadora.

En el momento histórico en que Isaac Newton (1643-1727) desarrolla su trabajo fundacional de la mecánica clásica, que culmina con la publicación de su obra magna en 1687 "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", ya existía una formalización bastante elaborada de la concepción de la fuerza y sus efectos sobre el movimiento de los cuerpos debida al aporte fundamental de la obra de Galileo. Newton hace una declaración importante al separar el concepto de peso de un cuerpo del de su masa, que define como la cantidad de materia que tiene el cuerpo y descubre la proporcionalidad entre el peso y la masa como conclusión de sus experimentos con péndulos, que también lo llevan a verificar su ley de acción y reacción (Solaz y Sanjosé, 1992).

Su obra comienza con un conjunto de definiciones de magnitudes fundamentales como masa, cantidad de movimiento, fuerza, inercia, además de las definiciones de los conceptos de espacio y tiempo y después presenta los tres axiomas o leyes, según el mismo las llamó, que son la base de la mecánica clásica. Las primeras dos leyes provienen de los descubrimientos de Galileo y los aportes de Hooke y Huygens, donde Newton expresó con claridad la proporción entre la fuerza aplicada sobre un cuerpo y su efecto en el cambio de la cantidad de movimiento del mismo. Esto resulta de gran importancia pues considera que la masa del cuerpo sobre el que actúa la fuerza no tiene que ser constante.

Hay que destacar que fue el genial matemático y científico suizo Leonardo Euler (1707-1783), quien en 1752, poco tiempo después de la muerte de Newton, publicó su libro donde aparece la primera ecuación física que se expresa en forma de igualdad y no de relaciones proporcionales (González, 2003). Esta es la famosa y ya tradicional expresión matemática de la segunda ley del movimiento de Newton que se escribe como $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, la que Euler también por primera vez consideró en las tres dimensiones del espacio, lo que apuntaba a considerar la naturaleza vectorial de la fuerza. A partir de esta expresión se aprecia con claridad que en la relación entre la magnitud fuerza (causa) aplicada a un cuerpo y la magnitud aceleración (efecto) que experimenta el cuerpo como resultado de la aplicación de la fuerza, hay una constante de proporcionalidad que es la masa del cuerpo, entendida como masa inercial que es un indicador de la resistencia del cuerpo a cambiar su estado de movimiento y he aquí una nueva noción de masa introducida por Newton con anterioridad.

Sin embargo, bajo la consideración de la enseñanza del concepto de fuerza, resulta muy importante tener en cuenta que la fuerza, según lo expresó Newton en su segunda ley, se relaciona con la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento de un cuerpo, que en la notación actual se expresa como $\vec{F} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{v})$ donde solo si la masa del cuerpo permanece constante resulta coherente con la expresión dada por Euler.

El aporte realmente original de Newton, que nadie antes lo había expresado con claridad, es la tercera ley o ley de acción y reacción, lo que puede ser visto como un punto de partida para la definición fenomenológica de la fuerza interpretada como el resultado de la interacción entre dos o más cuerpos, ya sea por contacto o a distancia, lo que se explicará con mayor detalle más adelante.

El otro concepto fundamental establecido por Newton en su obra es el de la fuerza neta o fuerza resultante que es igual a la suma de todas las fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo, la que no es una suma cualquiera, sino una suma de tipo vectorial.

III. LA IMPORTANCIA DE LAS IDEAS PREVIAS SOBRE LA FUERZA

La importancia que tiene para el proceso de enseñanza y aprendizaje de un tema o concepto científico, el conocimiento por parte de los docentes de las ideas previas del estudiantado sobre el mismo, es ampliamente reconocida en la actualidad y se ha validado por una gran cantidad de estudios e investigaciones, como indican Bransford, Brown y Cocking (2000) en general y Mora y Herrera (2009) para el concepto de fuerza en particular.

Sobre este aspecto de las ideas previas del concepto de fuerza y su significación para el diseño adecuado de estrategias de enseñanza y aprendizaje del mismo, Mora y Herrera (2009) han desarrollado un trabajo amplio y profundo donde presentan y comentan los resultados de gran número de investigaciones realizadas hasta fines del año 2008. Los autores del presente documento están de acuerdo con las razones por las que se justifica emplear la frase "ideas previas" (Camacho y otros, 2004; Mora y Herrera, 2009), en lugar de otros términos frecuentemente empleados como errores

conceptuales, preconceptos, concepciones espontáneas y otros. Además, dichos autores consideran también como contribución negativa importante a esta problemática las ideas o concepciones inadecuadas que transmite el profesorado a sus estudiantes durante la educación formal, ya que han podido observar que en el sistema educacional chileno hay frecuentes casos de docentes que enseñan de forma errónea o incompleta algunos conceptos.

Se puede decir que las características fundamentales de las ideas previas (Campanario y Otero, 2000; Pozo y Carretero, 1987; Chamizo y otros 2005; McDermott 1984; Camacho y otros, 2004), se resumen en:

- Son personales y se encuentran presentes de forma semejante en personas de diversas edades, género y culturas
- Son muy persistentes pues no se modifican fácilmente por medio de la enseñanza tradicional
- Son de carácter implícito, o sea, la persona que las tiene no es consciente de ello
- Se originan a partir de las experiencias de las personas con relación a fenómenos cotidianos, a la correspondencia de interpretación con sus pares, a la influencia de su entorno socio - cultural y a la enseñanza que se ha recibido en la escuela
- Se encuentran indiferenciadas de otros conceptos por lo que se aplican en forma confusa en distintas situaciones, a veces en forma inconexa y contradictoria en diversos contextos
- Con frecuencia presentan cierta semejanza o paralelismo con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia
- Muchas de ellas no se corresponden con el saber científico y pueden constituir un obstáculo para la comprensión de los fenómenos naturales

Teniendo en cuenta lo anterior, puede resultar muy útil para los docentes en formación y para los que ya están en ejercicio, el conocimiento de algunas ideas previas muy comunes sobre el concepto de fuerza que han sido identificadas en distintas investigaciones realizadas a grupos de diversos países y diferentes niveles educacionales (Mora y Herrera, 2009; Halloun y Hestenes, 1985; Minstrell, 1982; Gunstone y Watts, 1985; Clement, 1982), independientemente de que los docentes tengan la posibilidad o no de identificar las ideas previas propias de sus estudiantes, aplicando algún tipo de instrumento para ello.

Las ideas previas más comunes sobre la fuerza y que pueden interferir en el proceso de enseñanza y aprendizaje de este concepto son las siguientes:

- La ausencia de movimiento de un cuerpo significa que no hay fuerzas presentes
- Los objetos permanecen en reposo a menos que una fuerza actúe sobre ellos
- Los objetos inanimados no ejercen fuerza
- Cuando varias fuerzas están en competencia el movimiento está determinado por la fuerza más grande
- Siempre que las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo se compensen entre sí, entonces el cuerpo no se moverá
- Los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza aplicada
- Una fuerza no puede mantener un objeto acelerado indefinidamente
- Una fuerza no puede mover un objeto, a menos que ésta sea mayor que el peso o la masa del objeto
- Una fuerza constante sobre un objeto produce una velocidad constante y cuanto mayor sea la fuerza mayor será la velocidad del objeto
- Los cuerpos más pesados caen con mayor rapidez que los más ligeros

En un estudio realizado por Giorgi, Concari y Pozzo (2005) sobre un conjunto de investigaciones muy similar al que considera Mora y Herrera (2009), pero orientado al estudio de los aspectos teóricos, metodológicos y conceptuales involucrados en dichas investigaciones, encontraron algo que consideramos muy importante: aunque los sujetos investigados no demuestran poseer una conceptualización científica de fuerza, sin embargo, en las representaciones que construyen de los fenómenos mecánicos que se les presentan podrían estar involucradas significaciones del término fuerza asociadas a otras magnitudes físicas como la cantidad de movimiento y la energía. Estos autores encontraron que en la mayoría de las investigaciones que tuvieron bajo estudio se identifican con mayor frecuencia tres de los aspectos de las ideas previas de los sujetos, ya indicadas anteriormente, que son: fuerza en la dirección del movimiento, fuerza en relación directa con la velocidad y fuerza interna en cuerpos en movimiento. Todas estas características son propias de

la magnitud cantidad de movimiento lo que apunta a pensar que cuando los sujetos usan el término fuerza en realidad se estén refiriendo a la magnitud cantidad de movimiento.

Esto lo ha observado uno de los autores del presente estudio con bastante frecuencia en el proceso de capacitación a docentes de Ciencias en ejercicio de unas 136 instituciones educacionales de Enseñanza Media a todo lo largo de Chile, como parte de la implementación del Proyecto Tecnología Avanzada en la Enseñanza de las Ciencias (Herrera, 2006) que se ha llevado a cabo desde 1995 a 2017 y consistía en la instalación de laboratorios de Ciencia con sistema de medición automática. Además, aunque con menor frecuencia, se ha apreciado en los estudiantes de la carrera de Pedagogía en Matemática y Física, con quienes los autores han interactuado.

Por otra parte, el resultado de la investigación de Giorgi, Concari y Pozzo (2005) resulta relevante al apuntar hacia un enfoque distinto en la interpretación de las ideas previas frecuentes en el estudiantado, que abre las puertas a considerar en el diseño de las actividades didácticas el aprovechamiento de las ideas previas vinculadas con la interpretación del término fuerza relacionada con otras magnitudes físicas para facilitar su comprensión y precisión.

IV. EMPLEO DE UNA APROXIMACIÓN FENOMENOLÓGICA EN EL ENFOQUE DIDÁCTICO DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y DE LA FUERZA EN ESPECÍFICO

Resulta una verdad tristemente reiterada en una gran cantidad de países que los procesos de enseñanza de las Ciencias y en especial de la Física presentan graves dificultades prácticas que se ven empeorados por la deficiente base conceptual del estudiantado, graves deficiencias en la comprensión lectora y pobre capacidad de comunicación escrita y oral, además de las pésimas habilidades de interpretación, argumentación y de análisis. Todo esto conspira negativamente en la factibilidad del logro de aprendizajes significativos (Ausubel, 1969) por parte de los estudiantes y en consecuencia se produce un pobre rendimiento académico, aparece la desmotivación, la falta de interés, por lo que se cae con facilidad en las prácticas de aprendizaje memorístico y la aceptación de los métodos tradicionales de enseñanza.

Para enfrentar esta situación generalizada consideramos que es necesario el diseño de actividades de aprendizaje que sean atractivas y que estén relacionadas con los intereses del estudiantado y contextualizadas de acuerdo a las características propias de su entorno histórico y socio – cultural. Se deben promover espacios y situaciones de aprendizaje activo y colaborativo (Hiler y Paul, 2004) donde los estudiantes puedan interactuar libremente y expresarse y argumentar con el apoyo constante del docente.

De acuerdo con un informe de la UNESCO:” la inmensa mayoría de los docentes en América Latina han recibido una formación absolutamente memorística, la estrategia de enseñanza utilizada con ellos fue la exposición magistral, el docente relataba hechos y dictaba definiciones que se debían memorizar” (López, 2011, p. 19). Esto hace especialmente difícil lograr un cambio de paradigma en la forma de dar clases tanto de docentes en ejercicio como de estudiantes de Pedagogía en formación inicial.

En la etapa de formación escolar en la cual se instala el presente proyecto, parece como si los estudiantes hubiesen perdido la capacidad de plantearse preguntas sobre fenómenos que observan; la curiosidad innata en los niños, fuente principal del conocimiento en ciencias se ha extinguido. Una causa de ello podría ser la preferencia de los docentes hacia las respuestas ciertas, mas no creativas; la tendencia a favorecer la memorización y no los procesos de comprensión y aclaración conceptual de la experiencia; la tendencia a ignorar que existe una experiencia anterior a la escuela que podría recogerse y trabajarse en ella. (López, 2011, p. 17)

Los autores del presente documento han observado situaciones muy similares a la descrita en el párrafo anterior en las salas de clases en prácticamente todos los niveles del sistema educacional chileno y coinciden con la opinión de los autores López (2011) y Husserl (1949) de emplear un enfoque fenomenológico para desarrollar una aproximación didáctica al proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos de las Ciencias y en especial de la Física, donde se privilegie el acercamiento a los fenómenos a través de la experiencia personal del estudiantado, promoviendo la curiosidad y el asombro y facilitando la creación de espacios de reflexión en que se descubra la relación entre el asombro y la pregunta (Freire, 1987), estimulando la formulación de preguntas que según (Dewey, 1971) se convierten en las

manos con las que el pensamiento explora el mundo y concibiendo el experimento como la pregunta que se le hace a la naturaleza para facilitar la comprensión de los fenómenos estudiados (Díaz-Delgado, 1998).

Sugerimos fortalecer este enfoque con el uso del procedimiento de gran impacto en la comprensión conceptual de los fenómenos, que en la literatura especializada se denomina por la sigla POE, que en inglés indica “predict, observe, explain” (White y Gunstone, 1992). Este consiste en describir una experiencia que ilustra un fenómeno dado en el cual el docente sospecha o conoce que hay serias dificultades de comprensión o concepciones alejadas del conocimiento científico en el estudiantado. Luego se pide a los estudiantes que hagan una predicción fundamentada de lo que ocurrirá, se realiza la experiencia y se solicita que expliquen lo ocurrido en comparación con la predicción inicial.

Comúnmente se designa este proceso como predecir, observar y explicar. Además, si la situación lo permite y se producen preguntas y aparecen contradicciones, se puede agregar una fase más que es la indagación de modo que los estudiantes podrían realizar cambios en la situación inicial del fenómeno estudiado para indagar en las consecuencias del mismo (Hernández y López, 2012). El empleo de este procedimiento en los cursos que imparten los autores ha producido situaciones de aprendizaje muy significativas y de alto impacto en la comprensión de los estudiantes que asisten a los cursos de Didáctica de la Física. Por una parte, estos reconocen sus errores respecto de la comprensión del fenómeno estudiado y por otra, expresan su satisfacción porque logran identificar relaciones, conexiones o nexos que les permiten una explicación satisfactoria del mismo.

V. UN ENFOQUE NO TRADICIONAL PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA Y LAS LEYES DE NEWTON

Desde hace algunos años hay una elevada preocupación a nivel internacional por el poco interés que muestra la juventud en estudiar Ciencias y en especial Física (Harlen, 2010; Rocard y otros, 2007). Por otra parte, resulta un hecho ampliamente reconocido que se considere a la Física como una asignatura de difícil comprensión (Mora y Herrera, 2009; Khiari, 2011; Morales, Mazzitelli y Olivera, 2015; Mazzitelli, 2011; de Pro Bueno, 2003), que se enseña de forma prácticamente mecánica sin abordar la esencia del fenómeno que se estudia, donde el profesorado apenas declara el concepto, dicta definiciones, escribe fórmulas, explica algunos ejemplos y pasa directamente a la resolución de problemas haciendo uso de las fórmulas en el sentido de sustitución de valores y realización de cálculo matemático e incluso con gran frecuencia no se analiza la validez o verosimilitud de los resultados en relación a la naturaleza. Esta es una situación que lamentablemente está muy difundida y todos conocen que ocurre no solo en Chile sino también en Suramérica, en Europa y en Norteamérica, como comenta Knight (2004) en el prefacio de su libro.

Si consideramos el caso específico de la enseñanza del concepto de fuerza y de las leyes de Newton, la situación no es mejor, pues se añaden las dificultades conceptuales y epistemológicas propias del contenido y las divergencias de apreciación de diversos autores (Miguel, 1986; Montino y Chiabrando, 2015; Sebastiá, 2013; Khiari, 2011). Hay que señalar que en la presentación del concepto de fuerza también existe una gran diversidad de concepciones y enfoques presentes en una gran parte de los libros de texto tradicionales que se emplean frecuentemente en el nivel de enseñanza media y superior (Machado y Marmitt, 2016). En la mayoría de los textos de Física más empleados, por no decir casi en su totalidad, la enseñanza de las leyes de Newton se aborda usando la misma secuencia en que él las desarrolló en su obra fundacional *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Sebastiá, 2013; Young y Freedman, 2009; Serway y Jewett, 2008; Tipler y Mosca, 2010) y lo que es peor aún, se presentan y estudian por separado, sin comentar o analizar los vínculos entre ellas.

Los autores del presente estudio han observado durante su experiencia en los cursos de capacitación a profesores en ejercicio en el proyecto Tecnología Avanzada en Educación Científica y en el enfoque que se emplea por una gran cantidad de mentores o profesores guías involucrados en la práctica profesional de los estudiantes de Pedagogía en Matemáticas y Física, que ellos aplican el mismo procedimiento observado en los libros de texto para el tratamiento de las leyes de Newton en su aproximación didáctica a este tema. Además, con frecuencia se le otorga mucha importancia

a la segunda ley y se tratan con superficialidad y rapidez la primera y la tercera ley, en forma similar a lo que ocurre en muchos libros de texto.

Según la opinión de diversos autores (Miguel, 1986; Sebastiá, 2013; Montino y Chiabrando, 2015; Khiari, 2011) las tres leyes de Newton del movimiento tienen una íntima relación y coherencia interna de modo que no es adecuado presentarlas y estudiarlas por separado. Para que tenga sentido y significación para el estudiantado, se recomienda que el análisis y estudio de las tres leyes del movimiento de Newton se haga en forma conjunta, enfatizando las relaciones entre las mismas. Por otra parte, según opinión de Khiari (2011) la tercera ley es un prerrequisito de la segunda, por lo que lógicamente debería precederla, mientras que otros autores (Lara-Barragán, 2011; Stocklmayer, 2012) presentan un esquema didáctico donde se emplea una secuencia temática que rompe con la que tradicionalmente es usada en la enseñanza de las leyes del movimiento abordando el estudio de las tres leyes de Newton en un orden invertido comenzando por la tercera ley, seguida de la segunda y finalizando con la primera.

En el libro de texto de Díaz-Delgado (2002) diseñado para el nivel de décimo curso, equivalente a segundo de enseñanza media en Chile, el autor consideró las dificultades y deficiencias que se han indicado anteriormente con respecto a la forma en que se ha estado enseñando tradicionalmente este tema. Convencido que la ley de acción y reacción (tercera ley de Newton) facilita la comprensión del concepto de fuerza de una forma más general y global, dedica un espacio mayor a su reflexión y comprensión. En este libro el autor presenta una aproximación didáctica que apunta a favorecer el logro de aprendizajes significativos en el estudiantado.

Los autores del presente estudio proponen que los docentes promuevan el razonamiento de sus estudiantes destacando mediante diversos ejemplos prácticos que la fuerza surge de la interacción de al menos dos cuerpos y que siempre aparece como un par de igual intensidad, igual dirección, pero de sentidos opuestos y sobre todo que actúan sobre cuerpos distintos. De esta forma se evita el error común a que inducen con frecuencia los ejemplos y las ilustraciones de los libros de texto que muestran muchas veces solo una fuerza actuando sobre un cuerpo al abordar el concepto de fuerza a través de la segunda ley. Consideramos que si se trabaja la tercera ley con profundidad, siguiendo la idea de Hughes (2002), mediante el análisis de múltiples ejemplos donde se identifiquen los pares acción – reacción y se enfatiza que ambas no tienen una relación causal, es decir, cualquiera de las dos puede ser la acción o la reacción y aparecen siempre en forma simultánea, se podría facilitar su comprensión y evitar errores tan frecuentes como considerar la fuerza normal como reacción a la fuerza peso, la fuerza centrífuga como reacción a la fuerza centrípeta - idea que el propio Newton compartió hasta 1660 pues de esa forma respaldaba su consideración al movimiento circular como un estado de equilibrio (Chang, Bell y Jones, 2014) - o construir diagramas de cuerpo libre para analizar el principio de acción y reacción.

Otra arista favorable de este enfoque es que se puede abordar la segunda ley a través del análisis del efecto que provoca la misma intensidad de la fuerza al actuar sobre cuerpos distintos mediante la observación de la aceleración diferente que adquiere cada cuerpo según la masa que tenga cada uno.

Por otra parte, resulta muy conveniente destacar que si las fuerzas de acción y reacción surgen en un fenómeno de interacción de corta duración (como en el choque o explosión entre dos cuerpos y otros casos similares), la aceleración que en consecuencia experimenta cada uno de los cuerpos que interactúan está presente durante el mismo tiempo que dura la interacción y que existe la fuerza. Una vez que cesa la interacción, cesa la fuerza y por ende la aceleración, de modo que ambos cuerpos deben continuar su movimiento en una trayectoria rectilínea y con velocidad constante, siempre que no exista alguna otra fuerza actuando sobre los mismos. Esto facilita el inicio del estudio de la primera ley.

Además, se debe señalar que desde el 2009 los autores del presente documento han promovido, como docentes de los cursos de didáctica de la Física que los estudiantes de Pedagogía en Matemáticas y Física utilicen este enfoque distinto al tradicional en la enseñanza de las leyes de Newton, comenzando su tratamiento a partir de la tercera ley. En la práctica profesional de dichos estudiantes de Pedagogía se ha apreciado que este enfoque tiene un efecto positivo en los aprendizajes del estudiantado de los cursos regulares de enseñanza media en donde se ha aplicado. Un estudio específico sobre los efectos, ya sean positivos o negativos, de esta propuesta en el logro de los aprendizajes significativos correspondientes, puede dar pie a varias investigaciones posteriores que permitan validar la propuesta indicada.

VI. SUGERENCIAS DE ALGUNAS EXPERIENCIAS PRÁCTICAS PARA LA SALA DE CLASES

De acuerdo con nuestra experiencia, consideramos que puede ser de interés y utilidad, tanto para profesores en ejercicio como para aspirantes a docentes en la fase de formación inicial, compartir algunos ejemplos de experiencias prácticas sencillas que pueden emplearse como actividades de aprendizaje de distintos aspectos del concepto de fuerza.

Acá conviene hacer una distinción clara entre el significado de una experiencia y un experimento, los que no siempre se diferencian por el profesorado. Una experiencia está relacionada con la presentación de un fenómeno con el objetivo de facilitar, mediante su observación, el reconocimiento de sus aspectos y características relevantes y promover la identificación de las magnitudes que están involucradas en el mismo, así como sus relaciones en forma cualitativa. Un experimento consiste en el estudio de las relaciones entre las magnitudes presentes en un fenómeno dado, pero de forma cuantitativa. En el diseño de un experimento se recomienda mantener fijos los valores de todas las magnitudes presentes menos dos, de modo que se pueda introducir cambios de forma intencionada en una de las magnitudes involucradas mientras se realizan mediciones del comportamiento de la otra magnitud libre para cambiar. De esta forma se pueden estudiar sucesivamente las relaciones entre dos de las múltiples magnitudes que interactúan en un fenómeno dado.

VI.1 La presentación de la ley de acción y reacción

La propuesta de partir con la enseñanza de la tercera ley de Newton y trabajarla como definición del concepto de fuerza, se basa en los resultados de diversas investigaciones acerca de las dificultades que presenta el proceso de enseñanza y aprendizaje del concepto de fuerza y la leyes de Newton, abordado con cierto detalle anteriormente en este documento, y teniendo en cuenta los resultados de la investigación realizada por Brown (1989), donde evidencia la idea previa presente con mucha frecuencia entre los estudiantes que la fuerza es una propiedad inherente a los cuerpos y que puede ser transferida de uno a otro, por lo que en consecuencia destaca la importancia de enseñar con profundidad la tercera ley de Newton.

Una forma bastante ilustrativa de abordar el estudio de la ley de acción y reacción es presentar la experiencia en la cual dos estudiantes de masas muy distintas y colocados sobre plataformas con rodamientos (como el denominado “skate”) o sobre patines o sentados en sillas con ruedas, interactúan el uno con el otro aplicando fuerza de contacto. Se recomienda que solo uno de ellos aplique un empujón al otro para partir desde la situación más simple y posteriormente se repite la actividad con la aplicación del empujón por el segundo participante. Antes de realizar la experiencia es muy importante aplicar el procedimiento POE ya explicado, solicitando a los estudiantes que hagan predicciones de lo que ocurrirá una vez que uno empuje al otro, mejor si se hacen por escrito y en forma individual y grupal posteriormente. El docente debe orientar el diálogo de forma que los estudiantes expresen lo que piensan de las fuerzas que aparecen sobre cada uno de los sujetos participantes que interactúan, en el intervalo de tiempo que dura la interacción, debe indicar que observen atentamente lo que ocurre con cada uno de los participantes. La experiencia es muy sencilla y se puede repetir tantas veces como sea necesario para lograr que el estudiantado reconozca que el sujeto de menor masa se mueve más lejos y con mayor velocidad que el de mayor masa, independientemente de cuál de los dos es el que empuja al otro. En este proceso de análisis, discusión y comparación de lo observado con las predicciones hechas con anterioridad, el docente realiza la conducción del proceso de modo que se promueve el ambiente de una clase participativa y activa, donde los estudiantes emiten sus opiniones y desarrollan argumentaciones.

Si no se logra que identifiquen que la fuerza sobre cada uno de los participantes en cada caso es igual en tamaño y en la misma dirección pero en sentidos opuestos (y sobre todo que aparecen aplicadas sobre cuerpos distintos, que es la esencia de la tercera ley de Newton) se sugiere pedir que cada uno repita la experiencia pero empujando una pared de la sala, siempre solicitando la predicción de lo que ocurrirá antes de ejecutar la experiencia, y luego durante su realización, solicitar que observen atentamente el resultado en el movimiento de cada uno de los estudiantes que participan. Para controlar que la fuerza aplicada por cada uno sobre la pared sea aproximadamente igual en cada experiencia se puede sujetar sobre la pared una pesa de baño y observar su indicación instantánea durante el empujón,

ya que en definitiva el funcionamiento de la pesa de baño se basa en el comportamiento de un dinamómetro, pero su escala está ajustada para producir indicaciones de masa, aunque realmente mide fuerza.

De esta forma, además de abordar el estudio de la ley de acción y reacción con un enfoque fenomenológico favoreciendo el acercamiento perceptivo de los estudiantes al fenómeno físico, se puede pasar a estudiar de forma secuencialmente coherente a la segunda ley. Se sugiere destacar, en el diálogo con el estudiantado, la observación de lo que ocurre con cada participante al recibir una fuerza; cuál es el efecto de esa fuerza y su dependencia con la masa del sujeto que recibe la fuerza. De esta forma es posible aproximarse a la relación $\vec{a} = \vec{F}/m$ donde se debe destacar que la fuerza aplicada es la causa y el efecto es la aceleración que experimenta el sujeto, la que depende de la masa del mismo. Se sugiere, además, para mayor profundización en este tema, el uso de la animación “Tercera ley de Newton” (Universidad Nacional Autónoma de México (2013)).

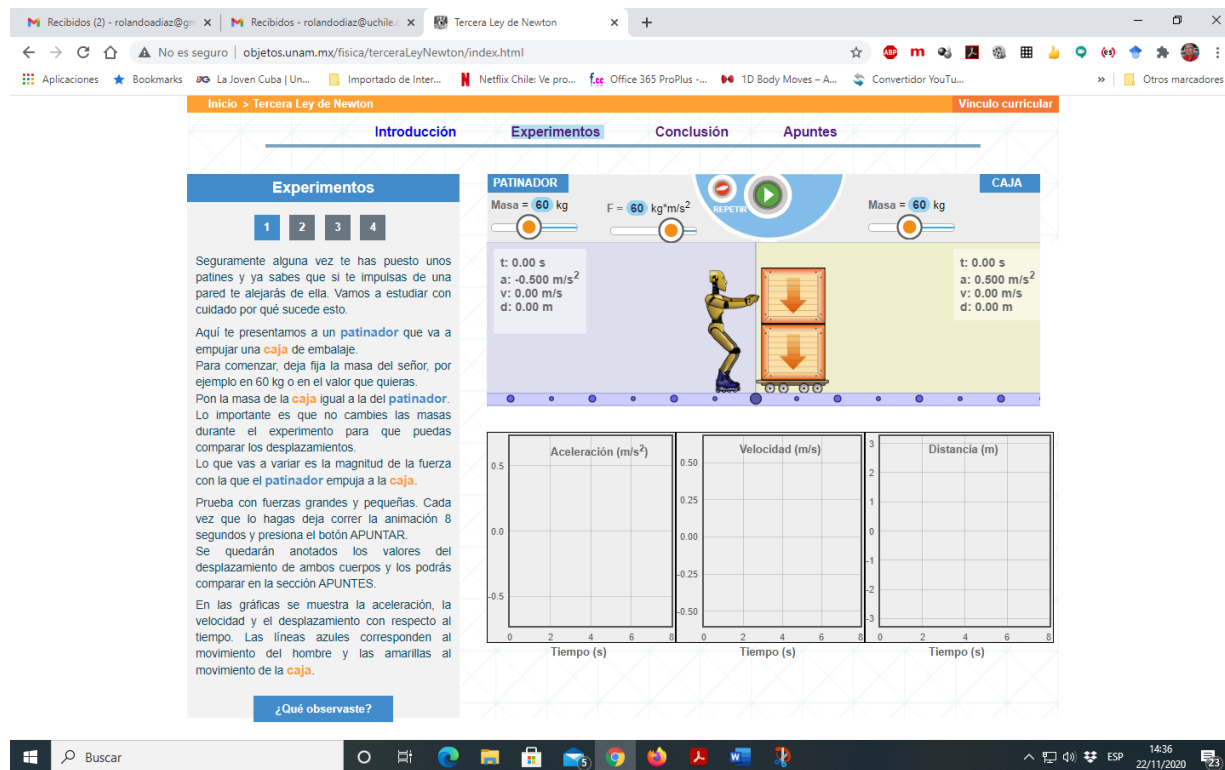


FIGURA 1. Ilustración de la animación del experimento sobre la tercera ley de Newton.

En esta animación la duración de la interacción entre el patinador y la caja es de 1 segundo y en las gráficas se puede observar el comportamiento de la aceleración y la velocidad de cada uno de los cuerpos, además de las gráficas de distancia vs tiempo. Esta animación facilita el desarrollo del procedimiento POE y la discusión y análisis de los resultados de la interacción en sus distintas magnitudes.

Para facilitar la comprensión de la ley de acción y reacción se recomienda presentar y discutir con el estudiantado una gran diversidad de situaciones y ejemplos de la vida cotidiana donde esta ley se manifiesta. Por ejemplo, cuando se estudia la fuerza peso usualmente se presenta desde el enfoque de la segunda ley como $peso = m \cdot g$ que es una forma simple de determinar su valor numérico, sin embargo, con este procedimiento se evade el análisis de su naturaleza y origen. Si se aborda el concepto de fuerza peso desde la ley de acción y reacción, se puede indicar que la atracción gravitacional de nuestro planeta sobre el cuerpo es la fuerza de acción que se identifica como el peso del cuerpo, mientras que la reacción es la fuerza de atracción del cuerpo dado sobre nuestro planeta y como ya se discutió e introdujo el efecto de la misma fuerza actuando sobre cuerpos distintos y con diferente masa, se espera que el estudiantado comprenda mejor

este fenómeno al reconocer que la masa del planeta es enormemente mayor que la del cuerpo dado, por lo que la aceleración que experimenta el planeta en ese caso es extremadamente pequeña y puede considerarse despreciable.

VI.2 El tratamiento de la unidad de fuerza

Cuando se aborda el estudio de la unidad de medida de la fuerza, con mucha frecuencia se recurre a la definición operacional empleando la ecuación de la segunda ley de Newton y los docentes definen el newton como la fuerza necesaria para que un cuerpo con masa de 1 kg experimente una aceleración de 1 m/s². Esto resulta formalmente correcto, sin embargo, a los estudiantes les dice poco o nada. Otra aproximación que se emplea es usar un dinamómetro que se entrega a los estudiantes y se les pide que apliquen una fuerza que lo estire hasta la marca de 1 N. Este procedimiento ya contiene el enfoque fenomenológico, pero lamentablemente no hay muchos colegios que dispongan de dinamómetros.

De acuerdo con la concepción del enfoque fenomenológico que favorece la percepción personal del fenómeno físico estudiado por parte de los estudiantes, se sugiere emplear el procedimiento de entregar a éstos un cuerpo que tenga una masa aproximada de 100 g, por lo que su peso es muy cercano a 1 N. Se les pide que sientan la fuerza que tienen que hacer para sostenerlo y se les informa que esa es la fuerza cuyo valor es 1 N (Díaz-Delgado, 2012, p. 53). De esta forma los estudiantes tendrán la posibilidad de sentir en forma personal la intensidad o tamaño de la fuerza correspondiente a 1 N. Si posteriormente se les entregan cuerpos con pesos de 2, 3 o 4 N, se puede solicitar el desafío de descubrir por la apreciación personal el peso de un cuerpo desconocido, en un acercamiento al uso y valoración racional de la unidad de fuerza. Posteriormente se podrá presentar la definición tradicional de dicha unidad a partir de la segunda ley de Newton y emplear animaciones sobre Fuerzas y Movimiento, que se pueden obtener en distintos sitios WEB, para que los estudiantes visualicen mediante representaciones gráficas la misma idea de la unidad de fuerza.

VI.3 El estudio de la relación entre fuerza, masa y aceleración

La propuesta del conjunto de experimentos que se describen acá se basa en el obstáculo de aprendizaje que emana de la concepción, muy frecuente en el estudiantado, que una fuerza constante sobre un objeto produce una velocidad constante y cuanto mayor sea la fuerza mayor será la velocidad del objeto, puesto que del experimento se valida que el resultado de la fuerza aplicada sobre un cuerpo es una aceleración (que implica cambio de velocidad) y que dicha aceleración aumenta con el aumento de la fuerza aplicada, además, se evidencia que una fuerza constante produce una aceleración constante (no una velocidad constante) en un cuerpo si su masa no cambia.

Por otra parte, la realización de estos experimentos facilita que los estudiantes logren reconocer la relación que existe entre la fuerza, la masa y la aceleración de un cuerpo y puedan llegar, mediante un proceso de modelación orientado y conducido por el docente, a la expresión matemática que la caracteriza, evitando de esta forma el empleo del enfoque academicista y tradicional de la definición y la consecuente presentación de la fórmula.

Teniendo presente que en este fenómeno están involucradas tres magnitudes, hay que estudiar dos situaciones distintas: a) cómo influye en la aceleración de un cuerpo de masa constante el aumento de la fuerza aplicada al mismo; b) cómo influye en la aceleración de un cuerpo el aumento de su masa bajo el efecto de una fuerza constante.

Para el estudio experimental de ambas situaciones se sugiere emplear el mismo montaje que consiste en poner sobre una mesa un móvil como un vehículo (camión o vagoneta de juguete) con espacio suficiente para colocar alguna carga sobre el mismo y cuyas ruedas giren libremente y presenten baja fricción. Fijar en uno de los extremos de la mesa una polea de modo que pueda girar libremente y con poca fricción. Unir el móvil que se encuentra en la pista horizontal (sobre la mesa) mediante un hilo inextensible de masa muy pequeña (hilo para volantín es adecuado) con un vaso desechable que disponga de espacio para colocarle una masa de carga. Se pasa el hilo por la polea de modo que el vaso cuelgue libremente y se sujeta el móvil a una distancia razonable de la polea y se ajusta la longitud del hilo de modo que se asegure, que después de soltar el móvil y chocar éste con la polea aún el vaso no llegue al suelo. Esto se puede asegurar con antelación al montaje si la longitud del hilo es ligeramente menor que el doble de la distancia de la polea al suelo.

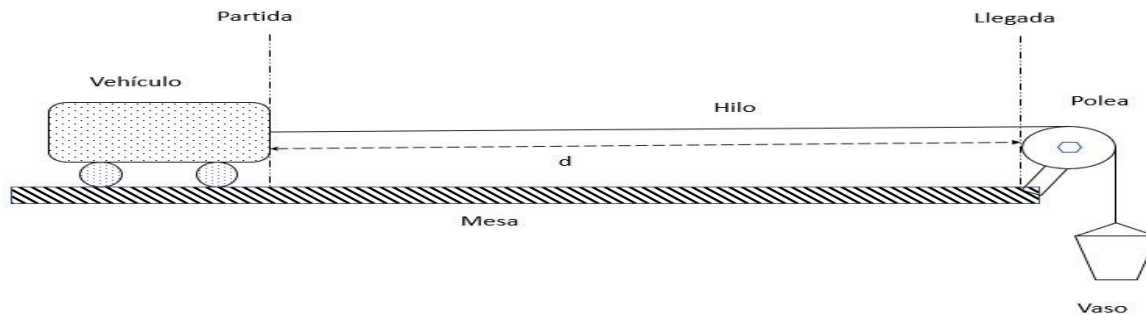


FIGURA 2. Se ilustra el montaje para los experimentos descritos.

Para el primer experimento hay que asegurar que la masa del sistema que experimenta la aceleración sea constante y que la fuerza pueda aumentarse gradualmente. Para ello se sugiere emplear como carga un conjunto de cuerpos de masa igual o muy similar como bolas de vidrio o canicas. Se coloca la mayor parte como carga en el móvil y el resto se introduce en el vaso que cuelga, de este modo el peso del vaso que cuelga será la fuerza aplicada al sistema móvil y la masa del sistema será la misma, si para aumentar el peso del vaso se pasan cuerpos del móvil al vaso.

El experimento consiste en ir aumentando gradualmente en cada ensayo, la fuerza aplicada al sistema de cuerpos y determinar en cada caso la aceleración del sistema mediante la medición del tiempo en que el móvil sobre la pista horizontal recorre la distancia fijada, desde el lugar de partida hasta el lugar de llegada, empleando la siguiente relación $a = 2 \cdot (d/t^2)$ (donde a es la aceleración del sistema, d es la distancia desde la partida hasta la polea y t es el tiempo del recorrido indicado) que se cumple si se asegura que el móvil parte cada vez con velocidad inicial nula y experimenta una aceleración constante. Para disminuir lo más posible el error en la determinación del tiempo de recorrido se sugiere repetir la medición unas 5 veces y obtener el promedio del tiempo. De esta forma los estudiantes pueden registrar los resultados como una tabla de datos de fuerza y aceleración para pasar después a la representación gráfica de los mismos (fuerza versus aceleración) y reconocer que se obtiene una recta cuya pendiente es igual al valor de la masa del sistema. Este procedimiento puede facilitar que los estudiantes reconozcan que la fuerza es directamente proporcional a la aceleración en el sistema estudiado, siempre que la masa sea constante.

Otra alternativa muy eficiente de obtención de los datos del experimento y las gráficas correspondientes es la toma de un video mediante cámara, celular o Tablet del movimiento del móvil o vehículo entre el instante en que se libera y el instante anterior a su impacto con la polea, que se procesa con el software libre y gratuito TRACKER.

Para el segundo experimento hay que mantener constante la fuerza aplicada sobre el sistema, por lo que se fija el peso del vaso que cuelga y se aumenta gradualmente la carga en el móvil de la pista horizontal de modo que la masa del sistema vaya aumentando en cada ensayo. Al igual que en el caso anterior, se determina la aceleración del sistema por el mismo método, cada vez que se introduce un aumento de la masa en el móvil y los estudiantes pueden hacer el mismo registro y representación de resultados que antes, haciendo esta vez el gráfico aceleración versus el inverso de la masa, de modo que podrán reconocer que la pendiente de la recta obtenida tendrá el valor de la fuerza constante aplicada al sistema. Esto puede facilitar que los estudiantes visualicen que si la fuerza aplicada a un cuerpo es constante la aceleración del cuerpo es inversamente proporcional a su masa. La realización de estos experimentos en forma grupal puede contribuir significativamente a la comprensión por el estudiantado de la segunda ley de Newton con un enfoque fenomenológico.

VII. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo observado con mucha frecuencia en las salas de clases de enseñanza media en Chile en cuanto a las dificultades y el poco interés del estudiantado para enfrentar el aprendizaje de los conceptos de la Física en general y en particular, respecto a la comprensión de la fuerza y de las leyes de Newton, es que se sugiere por los autores un

enfoque distinto al comúnmente empleado para abordar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los conocimientos mencionados, considerando además los resultados más destacados de los documentos consultados en el estudio monográfico sobre el tema indicado. Para ello se propone abordar el proceso de enseñanza y aprendizaje de estos conceptos en un orden no tradicional, comenzando con la ley de acción y reacción, pasando después al estudio de la ley de la fuerza (segunda Ley de Newton) y finalizando con la ley de la inercia. Se debe subrayar que el propio Newton estuvo largo tiempo tratando de compatibilizar la idea de la fuerza como algo externo a los cuerpos, así como una entidad propia de los cuerpos (Chan, Bell y Jones, 2014) por lo que resulta comprensible las dificultades del estudiantado en comprender la abstracción que conlleva la idea de masa inercial y la Ley de inercia. Se sugiere además emplear el enfoque fenomenológico y el ambiente de clase activa, con las características descritas en este documento, como procedimiento fundamental para promover el aprendizaje significativo con apoyo en el uso de la evolución histórica del concepto tratado.

La naturaleza de esta propuesta y las apreciaciones que han surgido de su puesta en práctica en diversas situaciones particulares, apuntan a la necesidad de realizar una investigación al respecto centrada en dos dimensiones: su efectividad para promover una mejor comprensión conceptual de los temas indicados y la valoración del estudiantado de los procedimientos – en particular de la reorganización del orden en que se enseñan las leyes de Newton - y actividades de aprendizaje no tradicionales. Los autores tienen la intención de realizar este trabajo en el futuro cercano con el fin de detectar aquellos elementos que efectivamente resultan en un aprendizaje más efectivo y aquellos que aun persisten.

REFERENCIAS

- Andreou, C. y Raftopoulos, A. (2011). *Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics*. Science & Education, 20(10), 1007-1037.
- Ausubel, D. (1969). *School learning, an introduction to educational psychology*. Estados Unidos de América: Holt Rinehart and Winston.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., y Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Academies Press.
- Brown, D. E. (1989). *Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law*. Physics Education, 24(6), 353-358.
- Camacho, F. F., Tovar, M. M. E., Vega, M. E. J., Bello, G. S., Gamboa, R. F., Castañeda, M. R., Alvarado, Z. C., Chamizo, J. A., Cruz, C. J. M., Gallegos, C. L., Sosa, F. P., López A. D. y Mota y Valdez, A. S., (2004) **Ideas Previas**, <<http://www.ideasprevias.ccadet.unam.mx:8080/ideasprevias/preconceptos.htm>>, consultado el 3 de julio de 2019.
- Campanario, J. M. y Otero, J. (2000). *Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 18 (2), 155-169.
- Chamizo, J. A., Sosa, P. y Zepeda, S. (2005). *Análisis de las ideas previas de la química*. Enseñanza de las Ciencias, Número extra, VII Congreso, 1-5.
- Chang, W., Bell, B., & Jones, A. (2014). *Historical development of Newton's laws of motion and suggestions for teaching content*. Asia - Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 15(1), 1-13. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1955902309?accountid=12528>
- De Pro Bueno, A. (2003). *Algunas reflexiones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química*. Educar en el 2000, Núm. 7, 12-17.

- Dewey, J. (1971). *Democracia y educación, una introducción a la filosofía de la educación*. 7ª Ed. Buenos Aires: Losada.
- Díaz-Delgado, R. A. (2012). *Ciencias 2 Física*. México, D. F.: Ediciones Castillo.
- Díaz-Delgado, R. A. (2002). *Física de la acción 2º medio*. Santiago de Chile: Editorial Marenostrum.
- Díaz-Delgado, R. A. (1998). *Manuales de cursos de capacitación del proyecto TAVEC*. Santiago de Chile: ORT – CHILE.
- Freire, P. (1987). *Pedagogía de la liberación*. Sao Paulo: Editora Moraes.
- Giorgi, S. M., Concari, S. B. y Pozzo, R. (2005). *Un estudio sobre las investigaciones acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento*. *Ciência & Educação*, 11(1), 83-95.
- González, F. A. (2003). *La contribución de Leonard Euler a la matematización de las magnitudes y las leyes de la mecánica*. 1736-1765. *LLULL*, 26, 837-857.
- Harlen, W. (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en Ciencias*. Association for Science Education. College Lane, Hatfield, Herts.
- Hernández, G. y López, N. M. (2012). *Predecir, observar, explicar e indagar: estrategias efectivas en el aprendizaje de las ciencias*. *Educación Química*, 09, 4-12.
- Herrera, J. (2006). *Caso de estudio: La Fundación Coca- Cola CHILE*. *Revista ABANTE*, 9 (1), 51-75.
- Hiler, W. y Paul, R. (2004). *Ideas prácticas para promover el aprendizaje activo y cooperativo: 27 maneras prácticas para mejorar la instrucción*. Recuperado de: https://www.criticalthinking.org/resources/PDF/SP-Active_and_coop_learning.pdf
- Hughes, M. J. (2002). *How I Misunderstood Newton's Third Law*. *The Physics Teacher*, 40, 381-382.
- Husserl, E. (1949). *Ideas relativas a una fenomenología pura y una filosofía fenomenológica*. México DF: Fondo de cultura económica.
- Khiari, C. E. (2011). *Newton's laws of motion revisited: some epistemological and didactic problems*. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(1), 10 - 15. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3699620>
- Knight, R. D. (2004). *Five Easy Lessons – Strategies for Successful Physics Teaching*. San Francisco: Pearson Education Inc.
- Lara-Barragán, A. (2011). *Un modelo de enseñanza neuropedagógico de las Leyes de Newton para la Net Gen*. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 526 - 536. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3696086>
- López, R. R. (2011). Implementación del método fenomenológico en el estudio del agua en el proceso de enseñanza aprendizaje de las Ciencias Naturales en estudiantes de la IED de Cundinamarca. Trabajo de grado. CUNDINAMARCA: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Machado, J. y Marmitt, D. (2016). *Conceitos de força: significados em manuais didáticos*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 15 Vol. (2), 281-296. Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen15/REEC_15_2_6_ex985.pdf
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge.

- Mazzitelli, C. (2011). *Análisis de las opiniones de padres de estudiantes de nivel secundario sobre las Ciencias y su posible influencia en el aprendizaje*. Revista de Orientación Educacional 25(4), 81-93. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3860068.pdf>
- McDermott, L. (1984). *Research on conceptual understanding in mechanics*, *Physics Today*. 24-32.
- Miguel, O. (1986). *Análisis comportamental de las leyes de Newton*. Enseñanza de las ciencias, 4 Vol. 1, 51-55. Recuperado de: www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/50860/92864
- MINEDUC, U. C. (2013). *Ciencias Naturales, programa de estudio para cuarto año básico*. Santiago: Ministerio de Educación República de Chile.
- MINEDUC, U. C. (2016). *Ciencias Naturales, programa de estudio para séptimo año básico*. Santiago: Ministerio de Educación. República de Chile.
- MINEDUC, U. C. (2015). *Física, programa de estudio para cuarto año medio*. Santiago: Ministerio de Educación. República de Chile.
- MINEDUC, U. C. (2011). *Física, programa de estudio para segundo año medio*. Santiago: Ministerio de Educación. República de Chile.
- Montino, M. y Chiabrando, L. (2015). *Repensando las Leyes de Newton en la formación de profesores*. Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 27, No. Extra, 669-674.
- Mora C. y Herrera D. (2009). *Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza*. Lat. Am. J. Phys. Educ. 3(1), 72-86. Recuperado de: www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf
- Morales, L., Mazzitelli, C., & Olivera, A. (2015). *La enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química en el nivel secundario desde la opinión de estudiantes*. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, 10 Vol. 2, 11 - 19. Recuperado de: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/reiec/article/viewFile/7766/6958>
- Pozo J. y Carretero, M. (1987). *Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? Infancia y Aprendizaje*. Vol. 38, 35-52. Recuperado de: http://rubenama.com/articulos/Pozo_Carretero_delpensamientoformal_a_conceespont.pdf
- Prieto-López, L. J. (2009). *Buridán, el "impetus" y la primera unificación de la física terrestre y celeste*. Thémata. Revista de Filosofía. Número 41, 350 - 371. Recuperado de: <http://institucional.us.es/revistas/themata/41/21prieto.pdf>
- Rivera J., Madrigal J., Cabrera E. y Mercado C. (2014). *Evolución histórica del concepto fuerza*. Lat. Am. J. Phys. Educ. 8 Vol. 4, 4601-1 - 4601-7. Recuperado de: http://www.lajpe.org/dec14/4601_Madrigal.pdf
- Rocard, M. y otros. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission. Community Research. Recuperado el 20 de julio de 2016 de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Sanmartí, N. (1997). *Enseñar y aprender Ciencias: algunas reflexiones*. 1 - 35. Retrieved from <https://docplayer.es/23411947-Ensenar-y-aprender-ciencias-algunas-reflexiones.html>.
- Sebastiá, J. (2013). *Las Leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza*. Didáctica de las ciencias experimentales y sociales, 27, 199-217.
- Serway, R. y Jewett, J. Jr. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Vol. 1. Séptima Edición. . Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

- Solano I., Jiménez E. y Marín E. (2000). *Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno sabe” sobre fuerza*. Enseñanza de las Ciencias 18(2), 171-188.
- Solaz, J. y Sanjosé, V. (1992). *El Papel del péndulo en la construcción del paradigma newtoniano*. Enseñanza de las Ciencias 10(1) , 95-100.
- Stocklmayer, S., Rayner, J. & Gore, M. (2012). *Changing the Order of Newton's Laws—Why & How the Third Law Should be First*. The Physics Teacher, 50, 406-409.
- Texeira E., Greca I.y Freire O. Jr. (2012). *The history and philosophy of science in physics teaching: A research synthesis of didactic interventions*. Science & Education, 21(6), 771–796.
- Tipler, P. y Mosca, G. (2010). *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Vol. 1. Editorial Reverté.
- White, R y Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London and New York: The Falmer Press.
- Yip, D. (2006). *Using History to Promote Understanding of Nature of Science in Science Teachers*. Teaching Education, 17:2 , 157-166.
- Young, H. y Freedman, R. (2009). *Física Universitaria Sears y Zemansky*. Vol. 1. México: Pearson Educación.
- Universidad Nacional Autónoma de México (2013). *Tercera Ley de Newton*. Recuperado de: <http://objetos.unam.mx/fisica/terceraLeyNewton/index.html>