



*DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LA SEGUNDA
LEY DE NEWTON DESDE UNA PERSPECTIVA
HISTÓRICA-EPISTEMOLÓGICA, Y PSICOLÓGICA.*

Erick Jesús Bolaños Realpe

Lina María Giraldo Cardona

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI
2016

*DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LA SEGUNDA LEY DE
NEWTON DESDE UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA-EPISTEMOLÓGICA,
Y PSICOLÓGICA.*

Erick Jesús Bolaños Realpe

Lina María Giraldo Cardona

Trabajo de grado presentado en el programa académico Licenciatura en Matemáticas y
Física como requisito para optar al título de Licenciado en Matemáticas y Física

DIRECTOR

Dr. Carlos Julio Uribe

UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI
2016



INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
Subdirección Académica

ACTA DE EVALUACIÓN DE
TRABAJO DE GRADO

Programa Académico
Licenciatura en Matemática y Física

Fecha

Día	Mes	Año
13	9	2016

Título del Trabajo o Proyecto de Grado		
Dificultades en el aprendizaje de la segunda ley de Newton desde una perspectiva histórico-epistemológica y psicológica		
Se trata de:		
Proyecto ☐	Informe Final ☒	
Director		
Carlos Julio Uribe Gartner		
Nombre del Primer Evaluador		
Alvaro Perea		
Nombre del Segundo Evaluador		
Alexander Bonilla		
Estudiantes		
Nombres y Apellidos	Código	Plan
Erick Jesús Bolaños Realpe	200936583	3487
Lina María Giraldo Cardona	200933225	3487
Evaluación		
Aprobado ☒	Meritorio ☐	Laureado ☐
Aprobado con recomendaciones ☐	No Aprobado ☐	Incompleto ☐
En el caso de ser Aprobado con recomendaciones (diligenciar la página siguiente), éstas deben presentarse en un plazo máximo de _____ (máximo un mes) ante:		
Director del Trabajo de Grado ☐	Primer Evaluador ☐	Segundo Evaluador ☐
En el caso de que el Informe Final se considere Incompleto (diligenciar la página siguiente), se da un plazo máximo de _____ semestre(s) para realizar una nueva reunión de Evaluación el: _____		
En el caso que no se pueda emitir una evaluación por falta de conciliación de argumentos entre Director, Evaluadores y Estudiantes; expresar la razón del desacuerdo y las alternativas de solución que proponen (diligenciar la página siguiente).		
Firmas		
Director del Trabajo de Grado	Primer Evaluador	Segundo Evaluador



AGRADECIMIENTOS

Primordialmente queremos dar gracias a Dios, por fortalecer nuestro camino dentro de la Universidad y permitir que nuestro proceso culmine con éxito, lleno de recuerdos de personas maravillosas sin las cuales nada de esto fuera posible.

Además queremos agradecer muy en especial a nuestros padres, Julio Dalvis Bolaños Vega, Jair Giraldo, Ana Lucía Realpe Rangel y Deysi Cardona Grajales, quienes con su esfuerzo y cariño lograron enmarcar este sueño que hoy culmina, gracias por sus acompañamientos en las largas horas de estudio, y sus grandes consejos en los momentos difíciles.

Gracias, a todos los docentes involucrados en nuestro proceso de formación académica de la Universidad quienes alimentaron nuestro deseo de aprender y servir. Y muy en especial a nuestro director de tesis Carlo Julio Uribe Gatner por sus consejos, esperas y el arduo esfuerzo que nos prestó por sacar este documento fruto de largas horas de reflexión y discusión. A todos gracias.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO 1.....	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. OBJETIVOS.....	20
4.1 Objetivo general.....	20
4.2 Objetivos específicos	20
CAPITULO 2.....	21
5. MARCO TEÓRICO	21
5.1 Física de Aristóteles.....	22
5.1.1 Leyes del movimiento: (Sepúlveda 2003, pág. 18 y 19).....	24
5.1.2 Consecuencia de las leyes	25
5.2 La física de la baja edad media	28
CAPITULO 3.....	46
6. Dificultades en el aprendizaje de la segunda ley de Newton	46
6.1 Origen y estructura del conocimiento cotidiano.	48
6.2 Segunda ley de Newton (El principio fundamental).	54
6.2.1 Limitaciones del principio fundamental.....	54
7. CONCLUSIONES.....	70
8. BIBLIOGRAFÍA.....	72

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Plano inclinado “imagen tomada de Sepúlveda (2003, pág. 71)”	36
Ilustración 2 trayectoria del proyectil horizontal “imagen tomada de Sepúlveda (2003, pág. 74)”	38
Ilustración 3 Niveles de análisis de representación, imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), pág. 104	52
Ilustración 4 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1995), Pág. 76”	57
Ilustración 5 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento. “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1998), Pág. 76”	60
Ilustración 6 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento. Fig. 6 “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1998), Pág. 76”	60
Ilustración 7 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento. Fig. 6 “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1998), Pág. 76”	63
Ilustración 8 “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1995) Pág. 81”, Puntos de vista sobre fuerza y movimiento (watts y zylberstain 1981)	63
Ilustración 9 Hechos y creencias de los estudiantes del movimiento. “Imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), Pág. 231	65
Ilustración 10 Teorías implícitas del estudiante del movimiento. Fig. 10 “Imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), Pág. 231	65
Ilustración 11 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza y movimiento. “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1995) Pág. 81”	66
Ilustración 12 Teorías implícitas de los estudiantes. “Imagen tomada de Uribe (2010) Pág. 29	67
Ilustración 13 “Imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), Pág. 231	69

1. INTRODUCCIÓN

Los conceptos de la física, como los de la mecánica, parecen ocupar un lugar marginal en los intereses de los estudiantes, quienes comúnmente deben enfrentarse a diferentes dificultades sociales, culturales, psicológicas y cognitivas dentro de su quehacer estudiantil, que a su vez intervienen en el proceso educativo y formativo del estudiante como persona autónoma y crítica, capaz de contribuir a los procesos psicosociales y culturales de la población. Algunas dificultades para el aprendizaje de la física newtoniana en el aula, las podemos encontrar en: las inmersas en un formalismo matemático, la falta de material didáctico para la enseñanza de los contenidos, el desinterés por parte de los estudiantes, la falta de motivación del profesor, o la falta de conocimiento por parte del docente para la enseñanza del conocimiento en el aula etc.

La presente propuesta pretende ilustrar desde diferentes marcos <<histórico-epistemológico y psicológico – ideas intuitivas->> y estudios, algunas de las dificultades que presentan los estudiantes en el aprendizaje de la segunda ley de Newton, propuesta por Isaac Newton y publicadas en su obra “*Philosophiae naturalis principia mathematica*” el 5 de Julio de 1687, considerando estas como de gran significancia para el aprendizaje de la mecánica de Newton, que propicien a la educación y en especial a los docentes, ese significado que han perdido a lo largo de la historia.

Además, claro está, esta ley requiere una “alta” comprensión por parte del estudiante de los conceptos de la mecánica, como: el principio de inercia y la cantidad de movimiento. Y por tanto, la importancia de realizar un análisis reflexivo por parte del educador a los aspectos formativos que intervienen en la enseñanza del área, las dificultades que se puedan presentar. Con lo cual, se desea realizar una exploración y selección a los distintos textos bibliográficos más significativos¹, que permitan al lector (docentes) conocer una síntesis y un análisis detallado de algunas de las dificultades que intervienen en el proceso educativo en el aprendizaje de la mecánica de Newton “la segunda ley de Newton”, y que a su vez propicien al educador el diseñar sus actividades para el mejoramiento continuo de sus prácticas educativas.

¹ Se utiliza el calificativo “significativo”, para señalar la importancia de la documentación utilizada para la elaboración del trabajo, posteriormente indicada por el tutor.

En la revisión bibliográfica hemos encontrado que uno de los orígenes de las dificultades en el aprendizaje de la ley, consiste en las ideas intuitivas (su conocimiento cotidiano) que adquieren los estudiantes por su experiencia con el mundo desde que nacen << la relación entre fuerza y movimiento >>, y estas “casuales” ideas permanecen con gran firmeza dentro del marco cognitivo de cada estudiante, su conocimiento y explicación de los fenómenos naturales son proporcionados a través de la experiencia con la misma. La razón no es prescindible para el entendimiento de su entorno, los sentidos proporcionan una verdad innegable de cualquier contradicción; además estas ideas intuitivas, se asemejan a las nociones que hace siglos los científicos pre-newtonianos concebían sobre el movimiento, como la teoría del ímpetu propuesta por Jean Buridán (Uribe 2010).

Lo anterior nos permite atribuir, una relación entre la historia epistemológica del movimiento, y el aprendizaje basado en la observación empírica de la realidad. Así, se pretende mostrar en este documento, un recorrido a los sucesos más influyentes en la historia del movimiento hasta su conceptualización lograda por Isaac Newton y presentadas en sus tres leyes, que nos brinden elementos para señalar, cómo los diferentes obstáculos inherentes al conocimiento fueron superados a lo largo del tiempo; Luego se pretende comparar este recorrido histórico del movimiento, con las ideas intuitivas de los estudiantes a través de su relación fuerza-movimiento presentadas por diversos autores, encontrando así, que existen similitudes entre el conocimiento cotidiano del alumno y la física elaborada por los científicos medievales, y por último se presenta, como lograr la transición paulatina del conocimiento cotidiano - ideas previas del estudiante con relación al movimiento -, al conocimiento científico, - la adquisición del principio fundamental de la dinámica, la segunda ley de Newton-. Y por tanto, convencer al lector “Docente de ciencias” que la enseñanza de la mecánica newtoniana, requiere de un análisis crítico a los posibles contratiempos que se puedan presentar en la transmisión adecuada de cada conocimiento.

En general nos limitaremos al problema de explorar, por qué nuestros estudiantes no comprenden lo que enseñamos (dificultades en el aprendizaje), cuando se enfrentan a la *Dinámica* de los cuerpos desde la segunda ley de newton, considerando que esta ley

requiere una comprensión elevada de la primera ley, así como la noción de cantidad de movimiento desde una mirada histórica-epistemológica y psicológica (ideas previas), teniendo en cuenta que la ciencia exige un pensamiento racional y lógico que debe superar el saber práctico (conocimiento cotidiano) que cada ser humano posee, en especial la noción de fuerza impresa introducía por Hiparco y teorizada por Buridán.

La organización del documento se puede resumir de la siguiente manera:

CAPITULO

- Capítulo 1: Este capítulo se divide en tres partes. La primera describe de manera objetiva las dificultades que generan las ideas previas en la adquisición del conocimiento científico, la importancia de reconocer estas ideas en las prácticas educativas por parte de los docentes hacia la reflexión de una mejor educación escolar. La segunda parte menciona la importancia por parte de los autores para la elaboración del documento, y los beneficios que trae para el educador, pensar la reflexión de la enseñanza escolar como una crítica a modificar las estructuras habitualmente utilizadas, para disminuir progresivamente las ideas previas de los estudiantes y reemplazarlas estas ideas por conocimientos científicos. Por último, la tercera parte presenta los objetivos del trabajo como un indicador de las metas a desarrollarse durante el trabajo, dando respuesta a la pregunta problema.
- Capítulo 2: Este capítulo abarca una síntesis de los aspectos más influyentes en la historia del movimiento, comienza presentando las características de la filosofía aristotélica, hasta el desarrollo de las leyes de Aristóteles bajo el principio “Todo lo que se mueve es movido por otro”, luego se presenta las grandes críticas de los filósofos medievales hacia las leyes del movimiento de Aristóteles, terminando con el desarrollo de la teoría del ímpetu de Buridán, en seguida se presenta la revolución científica instruida por Galileo, sus grandes contribuciones a la física del movimiento, las leyes de la cinemática para el movimiento uniforme acelerado de caída libre, las características del movimiento de proyectiles y la definición de cantidad de movimiento y el principio de Inercia, por último el capítulo presenta la conceptualización de la física elemental

elaborada por Isaac Newton y sus grandes contribuciones al movimiento de los cuerpos.

- Capítulo 3: En este capítulo se desarrolla los objetivos del trabajo, se presenta una extensión de los aspectos más relevantes mencionados en el capítulo 1; se muestra los orígenes y estructuras bajo las que se mueven las ideas previas de los estudiantes y la reflexión a tener en cuenta por parte de los educadores en ciencias, se contextualiza la estructura de las ideas previas bajo la física del movimiento, cuáles son algunas de las ideas previas que presentan los estudiantes en el principio fundamental de la dinámica, la segunda ley de Newton y su relación con la historia del movimiento.

Cabe mencionar, que el lector no está obligado a leer el documento bajo el instructivo de orden por capítulos mencionados. Una buena lectura propicia a entender la estructura del documento, es comenzar por el capítulo 1 contextualizando la problemática a desarrollar, avanzar al capítulo 3 donde se exhibe ampliamente los aspectos descritos en el primer capítulo, y terminar con las conclusiones del trabajo, que muestran en rasgos generales los logros formativos alcanzados con la elaboración del documento, la importancia de tener en cuenta las concepciones alternativas “ideas previas” que los estudiantes llevan al aula de clase contextualizada a la segunda ley de Newton, por ultimo bajo la lectura de los capítulos mencionados por el lector, complementar esta con la lectura del capítulo 2 la historia del movimiento.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El movimiento de los cuerpos ha preocupado a los físicos y en general a la comunidad científica desde la antigüedad griega. El conocimiento del por qué los objetos se mueven como lo hacen, ha permitido a los seres humanos controlar el esfuerzo para hacer mover su propio cuerpo y otros cuerpos (en especial los animados). Desde la antigüedad el *movimiento* es considerado como efecto de “algo” que actúa sobre un objeto. Uno de los principios aristotélicos fundamentales sostenía, “*todo lo que se mueve es movido por otro << (motor) >>*”. Por ejemplo, *una flecha lanzada por un arco*; en este caso la flecha inicia su movimiento como consecuencia del arco (motor), Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.) consideraba que existían dos tipos de movimientos, *movimientos naturales* << el agua bajando por un torrente >>, que no precisan de una causa externa, y *movimientos violentos* << como disparar una flecha >>, que necesariamente necesitaban de una causa externa para su movimiento. Pero Aristóteles se preguntaba, teniendo en cuenta el principio mencionado, después que la flecha ha sido lanzada (y puesta en movimiento violento), y ya no está en contacto con el arco ¿qué la puso en movimiento?, ¿cuál es la naturaleza de este “algo” que permite que el movimiento continúe?

Esta teoría del movimiento aristotélico <<medio como productor del movimiento>> sería criticada por pensadores como el astrónomo Hiparco (130 a. C), y el teólogo Juan Filópono (490 - 566), considerando que no es el medio lo que causa la continuación del movimiento, sino una especie de *fuerza* que es transmitida al móvil justo en el contacto entre los cuerpos en el momento de iniciarse su movimiento, dando surgimiento así a la teoría del *ímpetu* concretada por el filósofo francés Jean Buridán (1300 – 1358). Esta teoría sugería que el movimiento de un cuerpo es debido a que el impulsor transmite una especie de “fuerza” o *ímpetu* al proyectil, la cual permanece y permite su movimiento hasta que el medio la consume (Peduzzi y Zylbersztajn, 1997). Isaac Newton (1642 -1727), logra sintetizar las causas del movimiento, como hoy en día se enseña en la escuela, en sus tres leyes publicadas en su obra, “los principios matemáticos de la filosofía natural” a través de minuciosas críticas a los trabajos elaborados por Galileo Galilei (1564 – 1642), su idea se basa en que la fuerza no es solo un efecto o causa del movimiento, sino una consecuencia del cambio en su estar o estado.

Sin embargo, algunos estudios² muestran como en los estudiantes la idea de la relación entre fuerza y movimiento no es la correcta, sus ideas se fundamentan en nociones o ideas “previas” que adquieren de la práctica-saber con la realidad, y en comparación a las ideas de los físicos medievales estas presentan una gran similitud, la necesidad de una fuerza impresa es necesaria para la explicación del movimiento. Por ejemplo, no es fácil para un estudiante o persona en común pensar en un movimiento sin una causa que lo efectúe, nuestra experiencia nos muestra como los movimientos son productos de acciones de contacto entre dos o más cuerpos.

Roger Osborne (1995, capítulo IV, Osborne y Freyberg) considera que las nociones intuitivas o ideas previas del estudiante cuando se le pregunta acerca de las fuerzas que actúan en un movimiento, como lanzar una piedra verticalmente hacia arriba no son correctas, sus ideas son muy similares a las nociones que tiempos atrás eran consideradas por la comunidad científica, como la teoría del ímpetu, y aun cuando los estudiantes han recibido clases de física por un largo tiempo sus resultados no son los

² Estos se muestran en el capítulo 3, que permiten identificar algunas de las dificultades en el aprendizaje de la mecánica de Newton, con relación al concepto de fuerza y movimiento.

esperados, la noción de fuerza impresa es consecuente para la explicación del movimiento, estos consideran que la causa o efecto del movimiento es debido a la interacción entre una fuerza y el cuerpo a mover, la fuerza se transmite del proyector al proyectado hasta que el medio la consume.

Pozo y Gómez (2001) dividen en dos las dificultades que se presentan en la enseñanza de la física en secundaria, una de ellas tiene que ver porque los contenidos físicos parecen ser muy próximos a nuestro mundo, quienes manifiestan, la experiencia que posee el alumno de su realidad en contraste a los modelos que presentan sus docentes del movimiento presentan gran ventaja, sus explicaciones empíricas son suficientes y derivan una verdad, el saber-practico predomina sobre el saber-teórico, el conocimiento científico se presenta de manera insuficiente para la explicación de los fenómenos naturales, los sentidos predominan con gran influencia una verdad absoluta.

Lo anterior nos muestra, como las ideas intuitivas intervienen de gran manera en el aprendizaje del estudiante y estos conocimientos idealizados deben de ser tenidos en cuenta por cada docente antes de sus prácticas educativas, sus enseñanzas deben contrastar las ideas previas frente al conocimiento teórico de las ciencias que muestre que el saber-practico está en discordia a lo que la comunidad científica ha desarrollado, de lo contrario el resultado del aprendizaje de la mecánica de Newton en los estudiantes se refleja en conocimientos solamente memorísticos o aprendizajes reproductivos copiados a los modelos de sus docentes.

En síntesis, los conceptos newtonianos están en conflicto con nuestra intuición, aquello que nuestra experiencia nos enseña o muestra como razonable discrepan de algunos modelos que la física ha diseñado para sus explicaciones de la naturaleza, como el concepto de fuerza. Las nociones previas de los estudiantes se basan en un mundo realista y perceptible, mientras que el conocimiento científico como constructo social se adapta a un mundo idealizado. Los profesores de física ante tal dificultad, se limitan a recetar formulas y resolver problemas mecánicamente, donde la solución a los problemas es la sustitución de valores a las variables que actúan en la ecuación valores dados explícita o implícitamente. Pero no es la falta de conocimiento del profesor (que se espera sea así) ante el contenido lo que limita la enseñanza hasta tal

grado, sino la dificultad para que nuestros estudiantes asimilen los conceptos hasta apropiarse de ellos, por lo general, esta no comprensión no es puesta en evidencia en las instituciones educativas por los profesores en los exámenes, pues lo importante se liga a resolver problemas, sin entender en muchos casos del porqué del resultado obtenido. Tal aseveración, el aprendizaje significativo de la teoría Newtoniana, requiere una reestructuración del pensamiento implícito por parte del estudiante, lo cual demanda por parte del docente, un análisis a los diferentes problemas (como se mencionó antes) que puedan estar sometidos los estudiante en el aprendizaje del principio fundamental de la mecánica (la segunda ley de Newton), antes de transmitir sus conocimiento en el aula.

La importancia del documento radica en la necesidad de explorar y comparar algunas de las dificultades en el aprendizaje de la segunda ley de Newton, que permitan al educador reconocer que la enseñanza de su práctica educativa en relación a la física newtoniana, requiere de una autoevaluación a los procesos pedagógicos y didácticos con que elabora sus clases, que contribuya a sus estudiantes a vencer cualquier obstáculo que se le pueda presentar en el aprendizaje de sus saberes.

Para lo cual nuestra pregunta problema es:

¿Cuáles son algunas de las dificultades que presentan los estudiantes de básica secundaria frente al aprendizaje de la segunda ley de Newton, desde una mirada histórica-epistemológica, y psicológica?

3. JUSTIFICACIÓN

Entre las diversas labores de los educadores en la formación integral de niños, jóvenes y adultos, uno de los ejes centrales del educador es la enseñanza de saberes que permitan un desarrollo de competencias productivas a la sociedad, para lograr este objetivo los docentes desarrollan una serie de estrategias y/o actividades en el aula que faciliten el aprendizaje del estudiante, obteniendo en ocasiones buenos resultados que se manifiestan en los desarrollos cognitivos y afectivos del mismo.

El aprendizaje ha resultado para los educadores una de sus mayores preocupaciones, debido a los constantes resultados deficientes que muestran sus estudiantes a la hora de su producción personal (competencias desarrolladas en el aula de clases) y por la falta de interés que exponen dentro del aula de clases, motivo por el cual causa en el docente una serie de frustraciones, dado que se ven limitados para lograr el éxito de sus esfuerzos educativos; uno de los problemas al que se enfrenta el docente en el aula, es que el alumnado cada vez aprende menos y se interesa menos por el aprendizaje del conocimiento (Pozo y Gómez 2001). Por esta razón el aprendizaje se ha convertido en un factor importante de investigación donde se indaga los componentes que provocan el fracaso educativo.

Por otro lado y siendo consecuente con el problema del aprendizaje, uno de los aportes didácticos para la enseñanza del conocimiento y la comprensión de las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de conceptos, es el conocimiento de la historia de las ciencias, por los aportes significativos que ésta nos brinda, principalmente en el desarrollo cognitivo del estudiante.

La historia muestra a grandes rasgos las diversas evoluciones que han dado lugar (el conocimiento científico actual), las diferentes dificultades inmersas en cada concepto que han tardado incluso siglos en superarse (como la causa-efecto del movimiento de los cuerpos), las pasiones y atributos de aquellos que con su esfuerzo lograron enmarcar el conocimiento en satisfactorios y fructíferos caminos, logrando así la ciencia que hoy en día aceptamos y conocemos. Miguel de Guzmán (1993, pág. 70), manifiesta *“Desde el punto de vista del conocimiento científico, más profundo de la propia matemática la historia nos proporciona un cuadro en el que los elementos*

aparecen en su verdadera perspectiva”, es decir, la historia proporciona una visión informativa de la evolución de las ciencias (en general) manifestando su esplendor de una manera más sencilla.

En la enseñanza de la física newtoniana es muy importante rescatar el papel de la historia (como lo hemos mencionado), que ha atestiguado el esfuerzo de los grandes pensadores desde la edad media por superar los diferentes obstáculos presentes en la construcción del conocimiento, la relación fuerza - movimiento, primordialmente por la concepción similar a los que son sometidos los seres humanos por su experiencia con el mundo, la noción de fuerza impresa introducida en la edad media. Así la historia nos muestra como este fracaso educativo no es solo un proceso cognitivo o psicológico, sino también Histórico - epistemológico.

Sin embargo este fracaso educativo, la enseñanza de la mecánica newtoniana no puede ser solo abordado desde una mirada histórica – epistemológica o psicológica, dificultades en el aprendizaje de la ley segunda ley de Newton, se encuentran enmarcadas en otros ámbitos³, por ejemplo, el contenido matemático en que se expresa la ley, la estrecha relación entre las matemáticas y la física. Citemos a Feynman (2010, pág. 44) en unos de sus párrafos “... *subrayar el hecho de que es imposible explicar honestamente la belleza de las leyes de la naturaleza de manera que la gente pueda realmente sentirla, si la gente no posee un conocimiento profundo de las matemáticas...*”, la segunda ley de Newton, se expresa en un lenguaje matemático, y es imposible tratar de entender su importancia, si no se comprende el sutil lenguaje en el que se menciona.

Otra dificultad se encuentra en la semántica del lenguaje; las diferencias entre los significados del lenguaje formal o común y el lenguaje construido por la comunidad científica. El lenguaje “vulgar” que utilizan los seres humanos para la comunicación entre especies, es diferente (en muchas ocasiones) al lenguaje científico; el lenguaje científico es un constructo social entre personas dedicadas a la ciencia y en gran medida estos difieren del lenguaje cotidiano construido a partir de las experiencias

³ Estas dificultades no son elaboradas en este documento, sin embargo dado a su importancia se invita al lector a investigar e indagar a fondo los aspectos más relevantes de estos ámbitos, y permitir que sus experiencias aumenten contribuyendo así a la mejora de la educación escolar.

sensomotrices o sociales de cada ser humano. Tomemos un ejemplo sencillo que nos permita diluir lo antes descrito, la definición sobre “trabajo” que una persona común replicaría si se le pregunta acerca de qué es trabajo, “relación entre una persona y su profesión” o “conjunto de actividades a realizar por un individuo”, a la definición que un texto académico de física posee o un científico daría, “mecanismo de transferencia de energía de un cuerpo a otro, cuando no se tiene en cuenta las diferencias entre las temperaturas”.

Desde un punto de vista pedagógico, el fracaso en la enseñanza de la física newtoniana obedece a que los profesores ante los limitados textos didácticos en esta área, la falta de tiempo dedicado a la discusión de los conceptos y la no apreciación de la evolución histórica de los contenidos (como el desarrollo histórico del concepto de fuerza), entre otros, los docentes reducen entonces sus clases a la enseñanza algorítmica de ejercicios (Uribe, 2010, ver prologo), cuyo resultado no es tema de discusión. Como se ha mencionado, el aprendizaje de la física o de las ciencias requiere que el docente autoevalúe sus métodos de enseñanza antes de ingresar al aula de clase, donde se integren todos los métodos didácticos para el aprendizaje significativo de la física, y estos métodos deben ser desarrollados partiendo de las reflexiones acerca de los obstáculos que los estudiantes pueden tener. Por tanto, la necesidad de elaborar este documento es que permite al lector la observación a una síntesis de la exploración de algunas de las dificultades que los estudiantes presentan en la comprensión de la segunda ley de Newton desde la postura de varios autores, para el convencimiento por parte del docente, que sus enseñanzas se deben ajustar a las diferentes necesidades que presentan sus estudiantes. Y una descripción por la abrumante y fascinante historia del estudio del movimiento, nos brindará información contundente del porqué del fracaso constante por parte de los profesores de física en la enseñanza de la mecánica newtoniana y de su no comprensión por parte de los estudiantes.

Terminemos con esta cita que atestigua lo antes descrito:

“En efecto, el paso de uno a otro principio fue uno de los más capitales logros creativos de la mente humana. La historia de la ciencia del movimiento atestigua lo difícil que es romper la inercia mental firmemente anclada en nuestro saber cotidiano, en las innumerables experiencias que hemos tenido con el mundo que habitamos, hasta construir un nuevo mundo inercial, en el que ya no es absurdo pensar en un movimiento que prosigue “in aeterum” sin intervención de ninguna entidad motriz. El análisis de esta historia, desde el punto de vista de los cambios en las concepciones humanas acerca de la naturaleza del movimiento de la realidad física y del conocimiento, es un presupuesto esencial para diseñar maneras más eficaces de ayudar a nuestros alumnos a recorrer individualmente en pocos años ese largo camino” (Uribe. 2010, pág.15 -16).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Explorar, identificar y comparar algunas de las dificultades que los estudiantes de básica secundaria presentan en la enseñanza de la segunda ley de Newton, desde una mirada histórica-epistemológica y psicológica - ideas previas que subyacen en los estudiantes- , que permitan a los docentes disminuir progresivamente estas dificultades en el aprendizaje de la mecánica newtoniana, y posteriormente les permitan diseñar sus actividades desde las reflexiones de estos campos.

4.2 Objetivos específicos

- ❖ Explorar la evolución y el desarrollo del concepto de fuerza desde Aristóteles hasta Newton abordado desde una perspectiva histórica-epistemológica, que permita a los docentes reconstruir en parte el desarrollo de la mecánica Newtoniana.
- ❖ Identificar algunas de las dificultades de los estudiantes de básica secundaria basados en referencia bibliográfica con relación a la mecánica de Newton, evidenciando diferencias y semejanzas entre estas ideas y el conocimiento científico.
- ❖ Comparar la historia del movimiento y las ideas intuitivas de los estudiantes, que permitan al docente reconocer como estas ideas de la relación entre fuerza-movimiento subyacentes en el estudiante pudieron ser superadas a lo largo del tiempo.

5. MARCO TEÓRICO

La naturaleza del movimiento, o el mecanismo del movimiento es de gran importancia en física, conocer cómo y porqué se mueve un objeto ha permitido al ser humano desarrollar técnicas o modelos para comprender el brillante misterio de la más grande máquina, el universo. Por esto, la enseñanza en esta ciencia comienza por tan inmensa aventura, dando respuestas a preguntas como: ¿cuáles son las causas que permiten el movimiento de un cuerpo *terrestre o celeste*?, o ¿cómo determinar el comportamiento de un móvil en movimiento?, por ejemplo si es uniforme rectilíneo o acelerado.

Naturalmente el estudio del movimiento se divide en dos ramas: *Cinemática* - estudio del comportamiento del movimiento (descripción de la trayectoria) pero no su causa *Dinámica* - estudio de las causas que producen el movimiento -. Cualquiera sea el caso, es importante comprender el significado físico de los conceptos de *velocidad y aceleración* de un cuerpo.

El fracaso en la enseñanza de la mecánica (Cinemática y Dinámica) están sujetos a la no comprensión de los conceptos abstractos (como el de cantidad de movimiento) por parte de los estudiantes, la falta de conocimiento del profesor para la transmisión “adecuada” de los contenidos que resulten divertidos e interesantes para sus estudiantes, la falta de motivación para el aprendizaje, entre otros como se ha mencionado en el transcurso de este trabajo. En este se presentan las dificultades en

el aprendizaje de la segunda ley de Newton desde dos perspectivas, histórica-epistemológica y psicológica. Para esto, es importante aventurarnos en la historia que atestigua el arduo y fascinante mundo de aquellos que con su innumerable esfuerzo lograron asentar la ciencia que hoy en día conocemos. Devolvámonos entonces en el tiempo más de 2000 años; en tiempos de grandes pensadores y filósofos como Aristóteles (384 a. C. – 322 a. C.), y aquellos que contribuyeron al desarrollo de la mecánica⁴.

5.1 Física de Aristóteles

Aristóteles (384 a. C. – 322 a. C.) filósofo, lógico y científico, sus contribuciones a la ciencia han ejercido una gran influencia intelectual hace más de dos milenios por sus grandes tratados en diversos temas, entre ellos tenemos: sus teorías sobre la *naturaleza de la física* expuestas en sus ocho libros de “Física”, donde se aventura en el análisis del movimiento y sus causas.

Para Aristóteles el mundo sensible es real, << a diferencia de Platón >>, aunque el mundo sensible esté en constante cambio y movimiento y no presente nada estable, se puede sustraer de él unos elementos fundamentales que constituyen el pilar de la materia, *la sustancia* <<aquello que es inherente en los distintos porvenires del tiempo>>, pero estos elementos no son parte del mundo sensible, sino incorporados a éste como un todo, proporcionando de esta manera objetos para el conocimiento. Estos elementos son los postulados por Empédocles (Agrigento, h.495/490 - h.435/430 a. C.), Aire, Fuego, Agua y Tierra. Donde El fuego se encuentra primero, la tierra de último y los otros dos intermedios entre sí. Esta clasificación se determina por la levites o gravites del elemento, entonces el fuego posee la característica de mayor levites (ascenso), y la tierra el de mayor gravites (descenso).

Una característica de la filosofía aristotélica es la idea de “causa”, todo ente depende de cuatro causas, estas son Sepúlveda (2003, pág. 15):

⁴ Hay que aclarar, que es imposible mencionar a todos (por el propósito del trabajo) aquellos que con sus esfuerzos contribuyeron al desarrollo de la mecánica, y las grandes discusiones que dieron lugar principalmente en la edad media. Al lector interesado lo invitamos a indagar en el libro “historia de la ciencia”. Crombie (1996).

- ❖ *Causa material*: De lo cual está hecha la materia - “sustancia”-, los cuatro elementos.
- ❖ *Causa formal*: El modelo según el cual una cosa se hace.
- ❖ *Causa eficiente*: Aquello que es razón de la existencia o comportamiento del ente
- ❖ *Causa final*: Cada cosa esta dotada para alcanzar unos fines apropiados.

El movimiento de un cuerpo o la cualidad de un cuerpo para moverse es la consecuencia de un agente motor, según Aristóteles. Pero el movimiento para Aristóteles se clasifica en dos: *movimientos naturales* y *movimientos violentos*. El agente para el primero es intrínseco al mismo y actúa como causa eficiente, en el segundo este agente es externo al cuerpo que lo acompaña en el movimiento e impone en él su tendencia a su lugar no “natural” (Crombie 1996). Sin embargo sin importar el tipo de movimiento, se sostiene la afirmación que: “*todo lo que se mueve es movido por otro*”. Esta consecuencia de un agente motor seria criticada por muchos científicos medievales, de los cuales trataremos más adelante.

Los movimientos naturales no necesitan de una causa eficiente o final externa al mismo, estos están incorporados en el cuerpo que permiten a su vez su movimiento. Por ejemplo, cuando cae una piedra desde una altura, su causa final es ser el centro del universo (tierra), por su característica de ser pesado que determina entonces su causa eficiente. Los movimientos no naturales o “violentos”, son atribuidos a causas externas y por tanto su causa final está limitada por la consecuencia de la misma. La causa eficiente depende del agente motor, por ejemplo, si una persona es capaz de mover un objeto que desea situar en un lugar determinado. Pero los movimientos opuestos a los naturales no deberían proseguir indefinidamente -como arrojar una piedra horizontalmente -, dado que la causa eficiente solo actúa en contacto con el cuerpo en un tiempo determinado, por ejemplo, cuando una piedra es arrojada horizontal por una mano, << la causa eficiente termina justo cuando no hay contacto con la mano >> Aristóteles afirmaba: el movimiento se produce entonces por el medio al que es sometido – como el aire -, esto proporcionaría la teoría de la *antiperístasis* de Aristóteles y la negación a la existencia del vacío. Para entrar en estas dos situaciones

debemos proporcionar más elementos que ilustren mejor la naturaleza de los movimientos naturales o violentos, como conocer las leyes que Aristóteles deduce para estos dos tipos de movimientos.

5.1.1 Leyes del movimiento⁵: (Sepúlveda 2003, pág. 18 y 19).

➤ 1^o ley del movimiento

Para que exista movimiento es indispensable que la fuerza F motriz sea mayor que la resistencia del medio R , $F > R$.

Esta ley procede de la relación ingenua de la observación con la naturaleza.

La resistencia del medio presenta consecuencias en el movimiento de un cuerpo, y por tanto una fuerza por debajo de la mínima fuerza que se requiere para mover un objeto no tendrá ninguna efectividad.

➤ 2^o ley del movimiento “movimiento natural”

La velocidad V de un cuerpo es proporcional al peso W de un cuerpo, y proporcional a $1/R$ donde R indica la resistencia del medio.

$$v \propto \frac{W}{R}$$

Se tiene dos esferas de igual forma, peso y tamaño, m_1 y m_2 respectivamente (por ejemplo: de acero), luego soltamos m_1 en agua y m_2 en aceite al mismo tiempo, Se puede observar experimentalmente que la velocidad de caída en agua es mayor que en aceite, es decir $v_1 > v_2$ (factor que depende de la viscosidad de los fluidos), si se reemplaza el aceite por un fluido de viscosidad mayor, entonces la velocidad de caída es menor respectivamente, este proceso se repite si el fluido es reemplazado por una sustancia de mayor viscosidad, por tanto la velocidad v de caída para un cuerpo es proporcionales a $1/R$: $v \propto \frac{1}{R}$

⁵ Estas leyes dentro del Informe son expresadas en un lenguaje moderno, las ecuaciones o símbolos utilizados corresponden a trabajos de científicos posteriores, La física aristotélica es expresada en un lenguaje retorico, sin disponer de alguna ecuación matemática.

De igual forma si dos esferas de distinto peso e igual material y volumen caen en aire, como m_1 y m_2 donde $m_1 > m_2$, la velocidad v_{m1} de la masa m_1 es mayor que la velocidad v_{m2} de la masa m_2 , el objeto más pesado presenta una gravites mayor (su causa eficiente), y posterior se suelta una esfera de mayor masa $m_3 > m_1 > m_2$ entonces la velocidad v_{m3} es mayor a v_{m1} y v_{m2} respectivamente, de donde se concluye que $v \propto W$ (v = velocidad, W = peso).

➤ 3^o ley del movimiento “movimiento violento”

La fuerza que actúa sobre un cuerpo para provocar movimiento horizontal, es proporcional a la velocidad V del cuerpo, al peso W y a la resistencia R del medio.

$$F \propto WVR$$

1. Para una mayor velocidad es necesaria una mayor fuerza, por tanto $F \propto V$
2. En un medio determinado, para un objeto de mayor peso es necesaria una mayor fuerza para el movimiento del mismo, factor que depende de la resistencia del medio, entonces $F \propto W$.
3. Para un cuerpo cualquiera de masa m , es necesaria una mayor fuerza si la resistencia del medio es mayor, así: $F \propto R$

5.1.2 Consecuencia de las leyes

Una limitación importante es la forma “cómoda” como se expresan las leyes aristotélicas del movimiento. En la antigüedad griega una magnitud podía resultar solamente de una proporción “verdadera”, es decir de una razón de cantidades comparables como distancias o tiempos (Crombie, 1996). Por ejemplo, para la expresión matemática de velocidad media, la notación es posterior cuando se da una definición precisa de la velocidad promedio de un cuerpo, << Igual a la distancia total

recorrida en un tiempo determinado $d/t \gg$, a continuación se presentan algunas limitaciones de las leyes aristotélicas.

➤ 2⁰ ley del movimiento “movimiento natural”

$$v \propto \frac{W}{R}$$

Esta ley no dice nada acerca de las etapas del movimiento, cómo es la velocidad en distintos puntos intermedios entre los estados inicial y final, la ley procede de la ingenua observación empírica de la naturaleza, esta representa una relación para la velocidad máxima que alcanza un cuerpo.

En la naturaleza resultan fenómenos que la ley no puede explicar y que en últimas no permitieron la formulación matemática de la misma.

1). Los cuerpos en caída libre caen con una velocidad no uniforme, esto era conocido por Aristóteles. Pero su ley garantiza entonces un aumento en su peso, dado que son proporcionales y el medio no cambia, lo cual no es considerable si se encuentran a distancias no comparables con el radio de la tierra; no existe un cambio en el peso de un cuerpo <<macizo>> cuando se deja caer, por ejemplo desde el borde de una mesa hasta el suelo. Simplicio (en griego, Σιμπλίκιος; Cilicia, 490 – 560) en el siglo VI trató de argumentar esta afirmación, considerando que cuando un cuerpo se encuentra más cerca de su lugar natural, mayor es su tendencia hacia este, lo que se manifiesta en un aumento de peso (Sepúlveda 2003).

➤ 2⁰ ley del movimiento “movimiento violento”

$$F \propto WVR$$

Esta ley garantiza que no puede existir velocidad instantánea, en el caso que $R = 0$, para Aristóteles esto no puede suceder, concluyo entonces que el vacío es imposible.

- 1). Para un valor finito de fuerza F y resistencia R (por ejemplo si $F < R$), sobre un cuerpo determinado debe existir un valor finito de velocidad. Pero esto entra en conflicto con la primera ley, una fuerza no tiene efectividad si $F < R$.
- 2). Cuál es la fuente de aumento “fuerza” de la velocidad de un cuerpo constituido por un movimiento violento y/o natural.
- 3). Cuál era la fuerza motriz que mantiene en movimiento un proyectil cuando éste ha abandonado al agente proyector

Para explicar esta última aseveración, Aristóteles considero su teoría de la antiperístasis.

5.1.2.1 La Antiperístasis

Los movimientos natural o violento necesitan de una fuerza para su ejecución, en el primero esta fuerza es intrínseca al mismo, mientras que para el segundo es extrínseca, de donde se puede afirmar que *“todo lo que se mueve es movido por otro”*. En el movimiento de una flecha por ejemplo, cuál es la fuerza que permite que el movimiento continúe, dado que las fuerzas solo actúan en contacto según la 2^o ley del movimiento violento. Para Aristóteles es imposible fuerzas que actúen a distancias, la consideración de la fuerza gravitatoria en la época es imposible.

Para la respuesta de la naturaleza del movimiento, Aristóteles da la siguiente solución: Platón (en griego antiguo: Πλάτων) (Atenas o Egina, ca. 427-347 a. C.) afirmaba: para los movimientos violentos como el tiro de una flecha, en el momento del tiro el aire delante de la flecha se comprime circulando por la flecha hacia la parte trasera lo que empuja la flecha, este proceso se repite hasta que el movimiento se consume por la misma consecuencia del aire. Aristóteles partiendo del mismo hecho da su propia solución: En el ejemplo del tiro de la flecha el arco transmite al aire un “poder” que se prosigue de capa a capa, y a su vez permite el movimiento, el aire no se desliza por la flecha para luego dar su ejecución, sino que por el contrario el arco al transmitir esta especie de “energía” permite a la flecha su transcurrir. Pero la flecha debe encontrar aire en la

parte delantera de la misma, estas partículas obstruyen el movimiento, consumiendo lentamente la energía transmitida por el arco hasta que el movimiento termina.

Tanto en Platón como Aristóteles el aire juega el mismo papel, aunque su causa final es distinta. El aire da procedencia al movimiento, pero a la vez lo disminuye gradualmente hasta que termina. Para los científicos medievales este hecho es inexplicable, como las fuertes críticas de Juan Filópono a la filosofía aristotélica del movimiento.

La teoría de la antiperístasis permitió a Aristóteles otro hecho significativo en la filosofía del movimiento y fue la negación a la existencia del vacío. Como en la naturaleza los movimientos de los cuerpos se proceden por el medio al que son sometidos, como el aire, es imposible encontrar un lugar donde no se ejecute el movimiento, este es continuo y por tanto el vacío es imposible. Las partículas de aire que son desplazadas por el arco son reemplazadas por otras, y el aire puede entonces empujar la flecha continuamente.

Es importante mencionar las controversias que los científicos medievales realizaron a la filosofía del movimiento aristotélico, en especial a la teoría de la antiperístasis.

5.2 La física de la baja edad media

Hiparco de Nicea (130 a. C), astrónomo, geógrafo y matemático griego del siglo II, entre sus aportes más significativos a la ciencia, se encuentra la división del día en 24 horas de igual duración, la elaboración de un método que permite localizar posiciones geográficas por medio de latitudes y longitudes, así como dividir la tierra en meridianos y paralelos.

Hiparco se destaca por la crítica que realiza contra la concepción aristotélica del movimiento de proyectiles – movimiento violento -, asegurando que el movimiento violento de un móvil prevalece no por el medio que el cuerpo es sometido (como lanzar una piedra en un líquido “agua”), sino a una especie de “*fuera*” transitoria al proyectil

por el proyector, y a medida que el proyectil se mueve esa fuerza es absorbida y disminuye gradualmente por la resistencia del medio.

Cuando se lanza una piedra hacia arriba, Hiparco sostiene que (Peduzzi y Zylbersztajn, 1997, pág. 352):

- a) *La fuerza proyectora es la causa del movimiento ascendente.*
- b) *Mientras que la fuerza es mayor que la tendencia del objeto hacia abajo (peso), éste se mueve hacia arriba. El movimiento ascendente continua, pero cada vez más lentamente, con la disminución de la fuerza proyectora*
- c) *El proyectil comienza a caer cuando la fuerza ascendente es menor que la tendencia del objeto hacia abajo. El cuerpo se mueve hacia abajo por influencia de su propio impulso interno (peso) cada vez más rápidamente, con la continua disminución de la fuerza proyectora y de la manera más rápida cuando esta fuerza es totalmente agotada.*

En el ejemplo de la piedra, la fuerza proyectora es aquella fuerza de la mano a la piedra que se transmite continuamente a la misma. Esta fuerza debe ser mayor a la tendencia del cuerpo a caer –se trata de un movimiento natural y su tendencia es caer por su causa eficiente (peso) -. Finalmente por la disminución de la fuerza transmitida por el medio, ésta comienza su descenso. A medida que cae su rapidez (medida escalar de la velocidad), aumenta por la propiedad intrínseca del cuerpo - el peso -, y el consumo gradual de la fuerza transmitida.

En la propiedad tres (c), se encuentra un hecho relevante que debe ser detallado con más profundidad.

Era conocido que, cuando cae un cuerpo su rapidez aumenta, el cuerpo se acelera, este hecho había sido discutido por Aristóteles, pero recordemos que su ecuación del movimiento $v \propto \frac{w}{R}$ garantiza que si la velocidad v aumenta, su peso w también debe hacerlo, lo cual no es lógico.

Para explicar el concepto de aceleración de los cuerpos (aumento de la velocidad), Hiparco utilizó argumentos semejantes a los expuestos en los tres literales; consideremos que tenemos una piedra a cierta altura sujeta en la mano, cabe resaltar que la piedra se mantiene en reposo debido a la propiedad del peso (su causa

eficiente) y la fuerza que hace la mano al sostenerla, cuando la piedra se deja caer la fuerza que la mantiene en reposo se transmite a la piedra, pero a medida que la piedra desciende hacia la superficie la fuerza transmitida va disminuyendo hasta anularse (Peduzzi y Zylbersztajn 1997). La fuerza que lo mantiene estático, cuando se anula – se retira la mano -, se almacena a la piedra en igual naturaleza, oposición al movimiento. Pero esta fuerza se consume gradualmente por el medio. Cuando se retira esta tendencia a caer se combina con la fuerza transmitida, explicando la aceleración de los cuerpos hasta que la fuerza transitoria se consume.

Según Koyré (1986, cit. en Peduzzi y Zylbersztajn 1997, pág. 353) manifiesta:

“Hiparco (según lo que nos dice Simplicio, en cierto opúsculo en que él estudió muy particularmente este problema) pensó que el movimiento natural es más rápido hacia el final porque al principio de su movimiento el móvil es coartado por una fuerza extraña; de manera que éste no pueda ejercer su potencia nativa; es por eso que se mueve lentamente; más tarde, cuando esa fuerza extraña y externa poco a poco desaparece, la potencia natural se restablece y, de cierta manera libre de impedimentos, actúa más eficazmente. Es así que los cuerpos aceleran progresivamente su velocidad; proceso absolutamente comparable al enfriamiento del agua cuando es calentada y apartada del fuego. En efecto, al principio ésta se enfría de forma insensible y parece no hacer ningún progreso, mas, cuando el calor se fatiga, ésta recobra su antigua facultad, enfría más rápidamente y, por fin, va tan lejos que acaba por estar mucho más fría de lo que había estado antes de su calentamiento”.

En consecuencia la noción de fuerza impresa introducida por Hiparco contradice la concepción aristotélica sobre el movimiento de proyectiles, Aristóteles afirmaba que la fuerza que impulsaba el proyectil era ocasionada por el medio en el que se desplazaba, es decir se mueve por un agente externo al cuerpo, Hiparco afirma que la fuerza responsable del movimiento era interna, una fuerza almacenada que permite al proyectil su movimiento.

Además de Hiparco, Juan Filópono (490 - 566) también se destacó por los innumerables comentarios que realiza a la filosofía aristotélica del movimiento, Filópono planteaba al igual que Hiparco que: no es el medio el que permite la ejecución del movimiento, sino una *fuerza que es transmitida* justo en el contacto entre los cuerpos antes de su movimiento, dando pequeños pasos al surgimiento de la teoría del *ímpetu*.

Una de las fuertes críticas que realiza Filópono, fue a la antiperístasis aristotélica, afirmando que era imposible que una flecha o piedra sea impulsada por el aire. Évora (1998, cit. en Peduzzi y Zylbersztajn 1997, pág. 353)

«Sobre esta suposición sería difícil decir qué es lo que hace que el aire, una vez impulsado hacia adelante, se mueva de vuelta, es decir, a lo largo de los lados de la flecha, y la trasera de la flecha, volviendo una vez más e impulsando la flecha. Pues, en esta teoría, el aire en cuestión debe realizar tres movimientos distintos: éste debe ser impulsado hacia adelante por la flecha, para entonces moverse hacia atrás, y finalmente volver y continuar hacia adelante una vez más. Sin embargo, el aire es fácilmente movido, y una vez colocado en movimiento, atraviesa una distancia considerable. ¿Cómo, entonces, puede el aire, impulsado por la flecha, dejar de moverse en dirección al impulso impreso, y en vez de eso girar, como por orden de algún comando, y retrasar su curso? Además, ¿cómo puede este aire, al girar, evitar dispersarse en el espacio y sí colisionar precisamente sobre el tallado final de la flecha y nuevamente impulsar la flecha hacia adelante? Tal visión es totalmente increíble y llega a ser fantástica»

Filópono considera que el medio en el que se mueven los cuerpos (en este caso el aire, para el caso de una flecha) solo retrasa el movimiento de ellos, siendo consciente de que existe una fuerza continua (algo) que permite que los cuerpos se muevan. En el caso de no existir contacto físico entre el que lanza y el que es lanzado (al igual que Hiparco) existe una fuerza impresa en el proyectil por el proyector que permite que el cuerpo se mueva; la antiperístasis de Aristóteles garantiza que el proyector transmite “algo” al aire que a su vez impulsa la flecha y la retrasa, esta fuerza es transmitida de capa en capa, pero el aire no debe, si impulsa el movimiento de la flecha, retardar el movimiento hasta detenerlo. Para Filópono esta idea es ilógica, como se puede explicar entonces que dos objetos caigan a distancias desiguales, o por qué cuando una piedra está en un lugar determinado el aire no puede moverla.

En el caso del movimiento violento de los cuerpos, Filópono manifiesta en términos “modernos” la ecuación del movimiento que corresponde a:

$$V: \text{velocidad del cuerpo} \left\{ \begin{array}{ll} v \propto (F - R) & F: \text{fuerza que lo disloca} \\ & R: \text{resistencia al movimiento} \end{array} \right.$$

En comparación con la segunda ley del movimiento violento de Aristóteles $F \propto WVR$, la velocidad es proporcional a la diferencia entre el valor de la fuerza y la resistencia del medio. Observemos que en la ecuación la consideración de valor cero para la resistencia es posible, obteniendo como resultado un movimiento finito.

Otro aspecto importante que introdujo este grande opositor de Aristóteles a su forma de concebir la naturaleza del movimiento, es la consideración de la resistencia al movimiento como nula - resistencia igual a cero $R = 0$ - permitiendo observar la proporcionalidad que existe entre la velocidad y la fuerza, aspecto que contradice la noción de Aristóteles - el movimiento es instantáneo -, además argumenta que la disminución de la fuerza impresa del cuerpo se debe a la resistencia del medio al que el cuerpo es sometido y a la tendencia natural del cuerpo.

Finalmente la formalización del concepto de fuerza impresa se da con la introducción de la teoría del ímpetu, expuesta por Jean Buridán (1300-1358), filósofo escolástico de origen francés, lector de Aristóteles y conocido por los numerosos comentarios a las obras aristotélicas, además quien formulo en primer instancia el principio de inercia e introdujo la teoría del ímpetu.

Buridán sostenía que era imposible que el aire sostuviera a un cuerpo en movimiento después de haber sido lanzado con la mano, dado que, el aire impide al cuerpo seguir su movimiento, por lo que propuso una teoría resolviendo en instancia los problemas que la concepción aristotélica del movimiento tenía.

Las leyes que consideraba Buridán, (Peduzzi y Zylbersztajn, 1997, pág. 355):

- a) *Tiene una naturaleza permanente. Éste sólo puede ser disipado por influencias externas, como la de la acción de la gravedad (entendida como la tendencia de un proyectil en dirigirse a su lugar natural) y la de la resistencia de un medio. Por ese motivo, él no creía en la existencia del vacío, pues la permanencia del ímpetu llevaría a un movimiento perpetuo.*
- b) *También se aplica a un movimiento circular. Así, cesada la causa del movimiento de una rueda (como la rueda de un molino, por ejemplo), ésta no para inmediatamente;*

continúa girando un poco más hasta ser totalmente consumido el ímpetus que ésta adquirió en contacto con el movedor. En el caso del movimiento de un trompo, la situación es análoga a la de la rueda.

- c) *Es proporcional a la cantidad de materia y a la velocidad de un objeto. Esta definición cuantitativa recuerda inmediatamente el concepto de cantidad de movimiento de la mecánica clásica. Se debe enfatizar, sin embargo, que «no está claro si Buridán considera el ímpetus como un efecto de movimiento, como se podría considerar el momento, o como una causa del movimiento, lo que lo haría similar a una fuerza. La definición cuantitativa (el ímpetus es una calidad permanente que es definido por el producto de la masa y velocidad) parece argumentar el primer punto de vista. El uso de Buridán del ímpetu para explicar el movimiento de proyectiles y su asociación del ímpetu con potencia motora parece favorecer el último punto de vista. Parece ser más plausible creer que el propio Buridán nunca estuvo totalmente convencido de esta distinción» (Franklin, 1976. Cit. en Peduzzi y Zylbersztajn, 1997, pág. 355).*

Cuando se lanza un cuerpo, por ejemplo una flecha, el motor “arco” le transmite una fuerza “ímpetu” que permite que el cuerpo realice el movimiento en la misma dirección que el motor lo ha lanzado. La resistencia del aire y el peso del cuerpo debilitan el ímpetu continuamente hasta que la gravedad la vence, y es a partir de este momento que el objeto se moverá naturalmente hacia abajo. Además cuanto mayor sea la velocidad que se le imprime al objeto a mover, mayor será su ímpetu.

De lo anterior se puede concluir, que el ímpetu está en función de la velocidad y de la cantidad de materia que posee el cuerpo, por esta razón cuando se lanza una roca, esta llegará más lejos que una pluma lanzada con la misma fuerza, entre mayor sea la materia, mayor será el ímpetu que recibe el cuerpo.

La teoría del ímpetu no considera al aire como promotor del movimiento, además Buridán descarta con su teoría la existencia del vacío, si el ímpetu es transmitido solo el aire o la gravedad pueden consumirlo, en caso de no existir ninguna de estas dos cosas, esto genera un movimiento perpetuo lo que para Buridán es imposible.

Es el ímpetu una causa o efecto del movimiento, como se menciona en la cita anterior, parece que Buridán no distinguía este hecho. Este conflicto lo resuelven dos grandes científicos, Galileo Galilei e Isaac Newton.

5.3 Galileo Galilei (1564 – 1642)

Astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico. Realizo grandes contribuciones a la ciencia de la época, como en astronomía (mejora del telescopio) y en física (principio de inercia), así como comprobar experimentalmente la teoría de Copérnico del Heliocentrismo. Entre sus obras más importantes se encuentra “*diálogos sobre dos nuevas ciencias*”, publicado en 1638 en donde expone sus trabajos sobre mecánica de los cuerpos terrestres, y da inicio a la física moderna << fin de la física aristotélica >>.

Los trabajos de Galileo sobre el movimiento y la dinámica de los cuerpos, tienen origen en las grandes críticas realizadas a la filosofía aristotélica del movimiento, quienes encontraron problema para explicar los fenómenos de caída libre y tiro de proyectiles desde la afirmación “*todo lo que se mueve es movido por otro*”, como se ha mencionado en el desarrollo del trabajo, encontramos a Hiparco, Juan Filópono y Jean Buridán entre otros. Sepúlveda, A. (2003, pág. 63) en su texto menciona “*El mismo Aristóteles comprendió que su ecuación en términos modernos $v \propto F/RW$, era válida solo para grandes fuerzas: en efecto, si varios hombres pueden mover una barca, no es cierto que la tercera parte de ellos sea capaz de moverla en el mismo tiempo una tercera parte de la distancia...*”. Aristóteles utiliza el razonamiento probable, la habilidad de argumentar – dialéctica - en su filosofía de la física, pero no concebía las diferentes pruebas para la justificación de los fenómenos o causas de sus observaciones, como se evidencia en la cita anterior, la observación ingenua precede de un análisis sistemático de los hechos que comprueben un razonamiento cualitativo de los diferentes procesos presentes en la naturaleza.

Es Galileo el principal responsable en introducir la revolución científica que las ciencias en especial la Dinámica iban a seguir, la revolución de la dinámica en el siglo XVII fue producida por la sustitución del concepto de inercia, la base de la filosofía aristotélica es la inducción ingenua a partir de la experiencia del sentido común (Crombie 1996). Galileo sin embargo precisa de la medición como parte fundamental del proceso científico; las causas de los hechos observables - fenómenos – tienden a considerarse como parte fundamental en el proceso de producción de nuevas teorías.

El método de Galileo se basa a partir de la observación rigurosa y sistemática de experimentos concretos que permitan las regularidades de los fenómenos “regularidades esenciales – las casusas”, y estas regularidades puedan ser expresadas de forma cuantitativa a través de las matemáticas, y por consiguiente la construcción de hipótesis hipotéticas de donde se derivan las consecuencias que deban seguirse. Las matemáticas se convierten en parte fundamental del método galileano, esta consiste en expresar las diferentes regularidades presentes en los experimentos de forma matemática; estas abstracciones matemáticas permiten a Galileo diseñar experimentos sistemáticos específicos y discernir de hechos irrelevantes para determinar y estudiar las posibles relaciones entre los fenómenos más simples y conjeturar así modelos de explicación para los hechos presentes en la naturaleza. Por ultimo viene el proceso de experimentación que le permite poner a prueba las hipótesis con las conclusiones a partir de la observación.

Galileo da suma importancia a las matemáticas, éste considera que las teorías matemáticas deducen una verdad, la sustancia. El universo está escrito en un lenguaje matemático, como lo menciona en *Il saggiatore*, cuestión 6 (Cit. En Crombie 1996, pág. 131). “la filosofía está escrita en ese vasto libro que está siempre abierto ante nuestros ojos, me refiero al universo; pero no puede ser leído hasta que hayamos aprendido el lenguaje y nos hayamos familiarizado con las letras en que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, y las letras son los triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las que es humanamente imposible entender solo una palabra”.

Comienza Galileo en la parte III de su libro “*diálogos sobre dos nuevas ciencias*” presentando una definición de movimiento rectilíneo uniforme (Cit. En, Sepúlveda 2003, pág. 69). “Como aquel en que la distancia recorrida es proporcional al tiempo, o lo que es lo mismo, distancias iguales se recorren en tiempos iguales”. Posteriormente pasa al movimiento uniformemente acelerado, donde descubre que la distancia recorrida x por un cuerpo es proporcional al tiempo al cuadrado t^2 . La intención de Galileo no es el de partir de la experiencia para obtener una ecuación matemática, por el contrario es averiguar si el movimiento obedece a tan simple ley matemática y obtener de ella relaciones entre los fenómenos más simples. Es en este punto donde aparece el método científico experimental.

Como ejemplo de esto podemos presentar los experimentos realizados por Galileo en planos inclinados.

En este experimento a diferencia de los escolásticos cuyos razonamientos lógicos no exhiben una experimentación rigurosa de sus afirmaciones, esto no es de su interés, Galileo precisa de su método para obtener las regularidades esenciales del movimiento uniforme acelerado, donde afina y plantea sus preguntas, diseña el experimento y lo realiza, luego conjetura sus observaciones verdaderas en hipótesis y las formula en leyes matemáticas, al fin las comprueba con cambios en sus diseños experimentales.

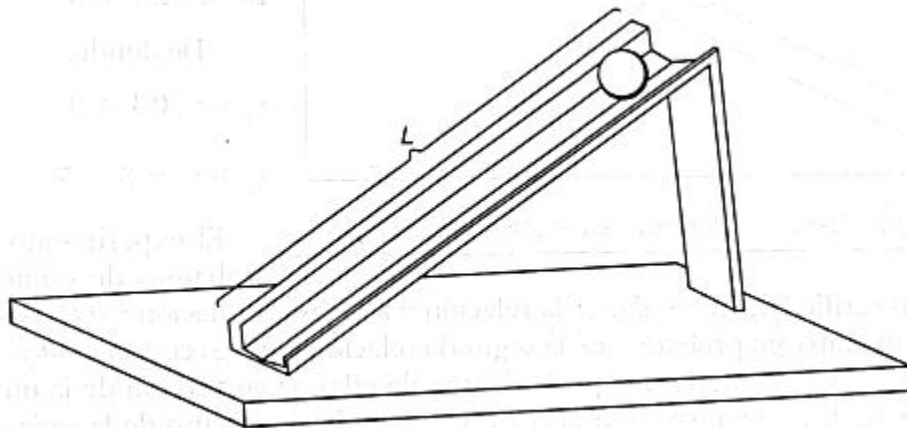


Ilustración 1 Plano inclinado "imagen tomada de Sepúlveda (2003, pág. 71)"

Galileo encontró por medio de un método experimental riguroso y sofisticado que para rodar un cuerpo por el plano una distancia L , demora un tiempo t . esto es: Sepúlveda A. (2003).

Recorre L en un tiempo t

Para rodar $L/4$ gasta un tiempo $t/2$

Para rodar $L/9$ gasta un tiempo $t/3$

Para rodar $L/16$ gasta un tiempo $t/4$

Claramente se observa la relación de proporcionalidad entre la distancia y el tiempo; la relación entre distancias = relación entre los tiempos al cuadrado², la diferencia entre $L/4$ y L es 4, mientras que $t/2$ y t es 2, entre $L/9$ y L es 9, y $t/3$ y t es 3. Galileo

experimenta con planos de diferente inclinación y encuentra siempre la misma relación entre la distancia y el tiempo, $x \propto t^2$ concluye que esta afirmación es válida para diferentes inclinaciones del plano, de donde, si el ángulo es de 90° “caída libre” se sigue cumpliendo aunque no lo demuestra, Sepúlveda A. (2003). Galileo también realiza sus experimentos en planos inclinados variando el peso de los cuerpos y encuentra la misma relación, $x \propto t^2$ de donde concluye que la aceleración de caída no depende del peso del cuerpo, claro, si se encuentra en una misma inclinación. Esta capacidad de entendimiento permite la formulación cinemática del movimiento de los cuerpos de caída libre, que actualmente se escribe como $x = \frac{1}{2} at^2$.

En caída libre la distancia es proporcional al tiempo al cuadrado. Lo cual entra en conflicto según lo planteado por Aristóteles en su filosofía, quien afirmaba, en caída los tiempos están en proporción a los pesos. Luego de experimentar con diferentes pesos Galileo deduce que, “*de igual altura diferentes pesos caen con igual velocidad*”. La aceleración (tendencia hacia el centro del universo) es siempre la misma.

Galileo con sus experimentos, había determinado que los cuerpos caen con la misma aceleración, igual tendencia natural independiente de su peso, sin embargo en la realidad esto no es así, la resistencia del medio es quien acompaña tal situación. Es decir que en el vacío donde la resistencia es $R = 0$, las velocidades en un tiempo t son iguales para dos cuerpos de distinta masa, volumen y forma, Galileo lo define como un caso hipotético, en caso de estar presente la resistencia del medio, la velocidad se ve afectada y disminuida en un valor finito; y si son de igual magnitud (tendencia del cuerpo y la resistencia del medio) el cuerpo cae con velocidad uniforme, la diferencia en las velocidades de caída de un cuerpo se debe a su diferencia en la característica de gravites del cuerpo.

Otro logro importante de Galileo en la Dinámica es el movimiento parabólico, el principio de relatividad e Inercia.

En el movimiento de un proyectil se tiene dos componentes, hay una componente horizontal y otra vertical, la velocidad para la componente horizontal es la misma para todo el recorrido (velocidad uniforme), mientras que para la componente vertical la velocidad es variable, correspondiente al movimiento de caída libre. Un aspecto

importante es que las dos componentes horizontal y vertical son independientes entre sí, no se influyen mutuamente, es decir que dos cuerpos lanzados desde una misma altura, uno en caída libre, y otro con un movimiento parabólico llegan al suelo al mismo tiempo.

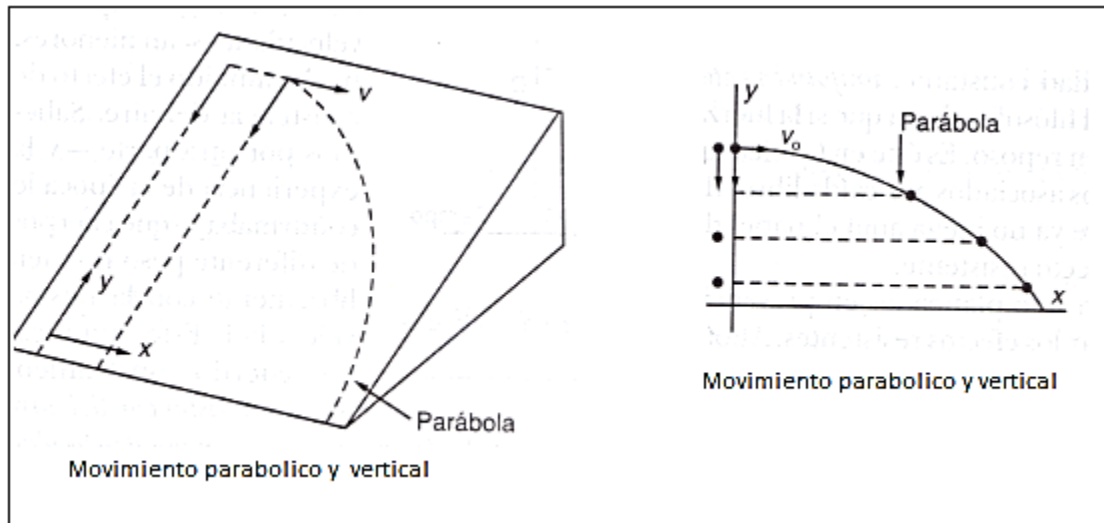


Ilustración 2 trayectoria del proyectil horizontal “imagen tomada de Sepúlveda (2003, pág. 74)”

Como se observa en la figura, la línea horizontal para ambas trayectorias coincide, lo que indica que el tiempo de caída debe de ser el mismo. Sin embargo esto implica la imposibilidad de establecer si un observador se encuentra en reposo o en movimiento uniforme. Se necesita entonces definir un *marco de referencia* y relativizar el movimiento, sus experimentos le permiten determinar que la trayectoria del tiro de proyectiles es una parábola y el alcance horizontal más grande que se puede atribuir al movimiento de un proyectil con una inclinación dada, es cuando esta mide exactamente 45° .

La explicación del movimiento de proyectiles y el movimiento acelerado lo explica Galileo desde su definición de *momento* o *ímpeto* diferente al expuesto por Buridán; Crombie menciona (1996, pág. 141). “...a partir de la observación que en una balanza un gran peso colocado a poca distancia del fulcro oscilaba en equilibrio con un peso pequeño colocado a una distancia proporcionalmente mayor del fulcro; derivo la idea de que lo que

*persiste en el movimiento es el producto del peso por la velocidad*⁶. El ímpetu no corresponde a la causa del movimiento “fuerza” sino un efecto y medida del mismo. Así, si un cuerpo es soltado por un plano inclinado y asciende por otro, el ímpetu adquirido por el cuerpo le proporcionara al móvil el poder ascender hasta la altura donde fue soltado; Galileo realiza este experimento con planos de diferente inclinación encontrando el mismo resultado, el cuerpo trata de alcanzar siempre la misma altura de donde fue lanzado, de donde afirma, si la inclinación tiende gradualmente a cero, el cuerpo persiste en su movimiento indefinidamente, la introducción del concepto de inercia es evidente, el movimiento es por tanto una propiedad de moverse indefinidamente al menos que algo obligue a cambiar su estado, la fuerza adquiere esta cualidad.

Galileo sin embargo no establece el principio de inercia enteramente, su idea arriesgada del movimiento no traspasa los límites terrestres, no lleva la abstracción generaliza de la gravedad como consecuencia del movimiento de los cuerpos celestes, Galileo atribuye el movimiento de los planetas a la inercia que estos poseen dado a su trayectoria en la que se mueven. Los movimientos son extensiones finitas y como se realizan en la tierra y la constitución geométrica de esta es un círculo, por tanto el movimiento perfecto es el círculo, el movimiento inercial se da en el movimiento circular. Son los contemporáneos a Galileo, como Newton que permiten establecer las bases y estructuras de la mecánica y establecer el principio de Inercia.

5.4 Isaac Newton (1642 -1727)

Isaac Newton (1642 -1727), físico, teólogo, inventor, alquimista y matemático inglés. Considerado como el padre del cálculo infinitesimal, y la mecánica elemental, formulo la teoría de la gravitación universal y las leyes fundamentales del movimiento publicadas en su libro “*Philosophiae naturalis principia mathematica*” el 5 de Julio de 1687, conocido como los principia, y reconocido como una de las obra más importante

⁶ Galileo no presenta una distinción entre peso y masa, esta distinción es lograda por Newton, el peso para Galileo corresponde a una propiedad intrínseca de los cuerpos su tendencia hacia abajo y no como el resultado de una interacción extrínseca.

de la historia de la ciencia, la obra se divide en tres partes o libros, en el primero Newton estudia *el movimiento de los cuerpos*, los desplazamientos causados por fuerzas centrales y las leyes de las áreas, el segundo trata sobre *el movimiento de los cuerpos en medios resistentes*, analiza el desplazamiento de los cuerpos en medios viscosos, y por último el tercero *“el sistema de los medios”*, por medio de observaciones a los trabajos de Kepler Newton deduce la ley de la gravitación universal. La vida de Newton está llena de acontecimientos que permitieron sus grandes descubrimientos y logros, como la caída de una manzana mientras se encontraba en Lincolnshire Inglaterra, escapando de una epidemia de fiebre bubónica que azotaba a Londres en el año 1665, y produjo un cierre temporal de la universidad de Cambridge donde estudiaba. Este acontecimiento le permitió a Newton trabajar en mecánica elemental y matemáticas, considerándose como la época más fructífera y fértil de su vida, Hawking (2003). La caída de la manzana en presencia del joven Newton, marco un rumbo satisfactorio en la física del movimiento, pensó Newton que la fuerza que permitía la manzana caer sobre la superficie de la tierra, era la misma fuerza que lograba que la luna orbitara sobre la tierra, comenzaba entonces a pensarse la extensión de la gravedad hacia los cuerpos celestes, Newton comprobó que la aceleración de la luna en comparación con el valor de la aceleración terrestre es aproximadamente 3640 veces menor, evidentemente la aceleración disminuye a medida que nos encontramos más lejos del centro de la tierra, la ley de la gravitación universal de Newton estaba por cobrar vida, una manzana que cae sobre la superficie terrestre, se encuentra aproximadamente a 6.371km del centro de la tierra, la luna se encuentra a 384.400 km, es decir unas 60,1 veces mayor aproximadamente, Gamow (1963, pág.31)., 384400 es aproximadamente el cuadrado de 60,1, de donde se puede concluir: *la fuerza de atracción disminuye según la inversa del cuadrado de la distancia*. Pero su ley estaba aún incompleta; Las minuciosas críticas a los trabajos desarrollados por Kepler sobre las trayectorias de los cuerpos celestes alrededor del sol, junto con sus trabajos permitieron a Newton deducir su ley sobre los inversos de los cuadrados, la fuerza de la gravedad entre dos objetos cualesquiera es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los centros de los objetos, la ley de la gravitación obedecida a este principio, pero si la tierra atrae a la manzana y a la luna, ¿por qué no

suponer que el sol atrae a la tierra?,. Gamow (1963), o por ejemplo, por qué dos cuerpos de masas relativamente pequeñas no se atraen entre sí hasta unirse, la ley debería depender entonces de las masas de los cuerpos, en efecto la ley de atracción entre la tierra y la luna es grande, porque la masa de la tierra y la luna es grande. Newton logra demostrar entonces, que la fuerza con que los cuerpos eran tirados hacia el centro de la tierra, es la responsable también de que la luna orbite sobre la tierra, y los planetas giren alrededor del sol.

En su obra, los principia, Newton propone las definiciones de masa, cantidad de movimiento, fuerza, fuerza centrípeta y movimiento relativo, continuando con los trabajos de espacio y tiempo de sus antecesores. En su libro primero, presenta sus leyes del movimiento que se pueden resumir como: Hawking (2003, pág. 647).

1^o ley: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él.

2^o ley: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

3^o ley: Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: quiere decir que las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentido opuesto.

La primera ley del movimiento, resume el concepto de inercia, el principio de relatividad, y el concepto de fuerza introducido en la física newtoniana. En efecto, un cuerpo cambia su estado de movimiento (velocidad = cte. ó velocidad = 0), si y solo si sobre el cuerpo actúa una fuerza resultante que lo obligue a cambiar de estado, esta propiedad de los cuerpos de persistir ante el cambio se conoce como el principio de inercia, Newton a diferencia de Galileo define la inercia lineal como la propiedad de los cuerpos a no modificar sus estados del movimiento ante ausencia de fuerzas resultantes.

Con Aristóteles se planteaba el hecho que es necesario un motor “fuerza” para producir un movimiento natural o violento, para los primeros el motor corresponde a una propiedad intrínseca del cuerpo, los físicos medievales sostenían que la fuerza

proyectada al cuerpo se imprime en el cuerpo hasta que el medio la consume, la física newtoniana sin embargo considera que la causa “motor” del movimiento no obedece a una fuerza impresa en el cuerpo, la fuerza es el producto de la interacción entre dos cuerpos, por esto es imposible hablar de fuerza impresa, la correspondencia entre la causa “algo” y el efecto, que permite que el movimiento persista se conoce como (en la física newtoniana) *cantidad de movimiento*, << y no ímpeto como lo interpretaban los físicos medievales>> definida como una cantidad vectorial de igual dirección que el de la velocidad, y que proporciona el estado de un cuerpo en un momento dado, en términos matemáticos se escribe como $\text{cantidad de movimiento} = \text{masa} \times \text{velocidad}$, su diferencia a la introducción de Galileo del momento o cantidad de movimiento, es la distinción entre masa y peso, para Newton la masa corresponde a una propiedad inherente a los cuerpos que mide la cantidad de materia existente en el mismo, el peso resulta de la interacción gravitatoria entre un cuerpo - como la tierra - y otro, - como una manzana -, sin esta interacción un cuerpo carece de peso, pero no de masa, además Newton distingue la diferencia entre masa inercial (resistencia de un cuerpo a moverse) y masa gravitacional (medida de la fuerza gravitatoria que experimenta una masa ubicada en un campo gravitatorio), aunque coincidentemente miden lo mismo.

La cantidad de movimiento no corresponde a una propiedad vinculada a un agente externo, por tanto un cuerpo de masa m invariante a velocidad constante, posee una cantidad de movimiento constante, al menos que algo obligue a cambiar este estado de movimiento, la fuerza se define entonces como aquella interacción entre dos o más cuerpos capaz de modificar el estado de movimiento de un cuerpo o su cantidad de movimiento. La cualidad que adquieren los cuerpos por su cantidad de movimiento, nos permite explicar la sensación que siente una persona por ejemplo cuando toca un objeto como una pelota en sus manos, o el daño que nos puede causar un automóvil a una gran velocidad, así no nos preocupa si una mosca se acerca a nosotros a gran velocidad, pero si cambiamos la mosca por un camión la situación es diferente, a la misma velocidad el daño que nos puede ocasionar es mayor.

Newton lograba entonces dar una definición precisa para el concepto de fuerza, pero otra discusión entra a flote, para la física aristotélica el movimiento es absoluto, sin

embargo situaciones de nuestra vida cotidiana nos muestran que esto no es cierto, si dos personas se encuentran tomando un paseo en automóvil sentados en la parte delantera del mismo, podrán constatar que las sillas del automóvil se encuentran en reposo (velocidad cero) con relación a cada pasajero, pero una persona situada en la calle, observa como las sillas y pasajeros se mueven a la misma velocidad que el automóvil, dos observadores distintos observan situaciones diferentes para un mismo hecho, esto se conoce en física como *movimiento relativo*, el movimiento depende del observador, otro ejemplo claro es la tierra; si la velocidad depende del observador entonces la cantidad de movimiento también, en efecto la cantidad de movimiento es distinta para dos observadores diferentes, esto implica la necesidad de establecer un sistema de referencia inercial, un punto en el espacio donde los cuerpos son observados en todas sus propiedades y se cumplen en su totalidad las leyes de Newton. El principio de relatividad nos permite comprender que el sistema de reposo es equivalente al movimiento uniforme, donde la velocidad en todo el recorrido es constante y en últimas corresponde a la interpretación de la primera ley de Newton, los estados del movimiento corresponden a relaciones del cuerpo por conservar sus propiedades y abstenerse al cambio, y este se logra a medida que se interactúe con otro(s) cuerpo(s) y se produzca un cambio en el momento o en su velocidad, esta definición de cambio en la velocidad se le atribuimos a la fuerza resultante sobre un cuerpo.

Las fuerzas describen entonces interacciones entre cuerpos, y la tercera ley de Newton establece que toda acción presente en un cuerpo presenta una reacción de igual magnitud pero sentido contrario, las fuerzas no actúan solas entre sí, se requiere de la interacción entre dos o más cuerpos, pero que sucede en un cuerpo donde actúen fuerzas resultantes no nulas y no compensadas. Uno de los grandes logros de Newton fue el haber podido establecer el principio fundamental de la dinámica, que en resumidas menciona que los cuerpos ante la presencia de fuerzas resultantes presentan cambios en las cantidades de movimiento, por mínima que resulte la fuerza, esto se resume como la segunda ley de Newton.

La segunda ley de Newton, nos brinda información contundente acerca del comportamiento de un cuerpo cuando es alterado por una fuerza; en esta ley podemos encontrar la relación entre fuerza, masa y aceleración, y explicar detalladamente la manera que un cuerpo cambia sus estados del movimiento, en reposo o velocidad cero, y velocidad constante. El enunciado de la segunda ley de Newton expresa que: *“el cambio de movimiento es directamente proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime”*. –Como anteriormente se ha mencionado - Una consecuencia de la ley, implica que la fuerza resultante sobre un cuerpo está relacionada con el cambio en la cantidad de movimiento del cuerpo en un tiempo determinado, por ejemplo si la fuerza es constante entonces el cambio en la cantidad de movimiento en ese tiempo también lo es; en términos matemáticos podemos expresar esta relación cómo:

$$fuerza = \frac{\text{cambio en la cantidad de movimiento}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

Con Galileo, ya se encontraba una definición apriori para la cantidad de movimiento, como el producto entre la velocidad del cuerpo y el peso del mismo. Claro, Galileo no distingue el peso como una propiedad extrínseca del cuerpo producto de una interacción, para Galileo el peso corresponde a una propiedad intrínseca del mismo. En términos de la física de newtoniana, la cantidad de movimiento se expresa como “el producto entre la masa y la velocidad del cuerpo

$$P = mv \quad (2)$$

De la ecuación 1 y 2 tenemos que:

$$fuerza = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} \quad (3)$$

Si una fuerza resultante actúa sobre un cuerpo en un tiempo t , el cuerpo altera su cantidad de movimiento en la dirección de la fuerza.

Entonces, si sobre un cuerpo actúa una fuerza resultante en intervalos de tiempo pequeños, resulta que la ecuación (3) se puede describir como:

$$fuerza = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \quad (4)$$

Aplicando la propiedad de la derivada para un producto entre expresiones algebraicas, y considerando que en muchos de los casos, la masa de un cuerpo permanece constante ante la alteración de una fuerza, de la ecuación (4) obtenemos que:

$$fuerza = m \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

El término de la derecha de la ecuación (5) $\frac{dv}{dt}$, corresponde al cambio de la velocidad del cuerpo con respecto al tiempo. Y este término se define para los físicos como la aceleración “a” del cuerpo. Entonces la ecuación se puede reescribir como:

$$fuerza\ resultante = m.a \quad (6)$$

La ecuación (6), corresponde al principio fundamental de la dinámica, donde claramente se puede apreciar la relación entre la fuerza y la aceleración del cuerpo. Una fuerza resultante mínima que actúe sobre un cuerpo, produce un cambio en el estado del cuerpo, despreciando cualquier tipo de fuerzas de fricción. Los cuerpos cambian sus estados de movimiento si estos se aceleran, y la fuerza adquiere este carácter. Los logros de Newton o sus contribuciones a la ciencia fueron brillantes, por ejemplo calcular las posiciones, velocidades y aceleraciones de los planetas a partir de unos cuantos postulados Uribe (2010), entre muchos otros. Pero entender el principio de la dinámica “segunda ley” requiere una reestructuración del pensamiento lógico que habitualmente poseen los seres humanos, más específicamente entender la relación entre fuerza y movimiento, y como se puede apreciar en el siguiente capítulo estas ideas se ven influenciadas con gran impacto por las diferentes concepciones que adquirimos de nuestras experiencias.

CAPITULO 3

6. Dificultades en el aprendizaje de la segunda ley de Newton

A lo largo de este trabajo se ha mencionado como el conocimiento científico difiere del conocimiento cotidiano que nuestros alumnos adquieren de su quehacer en su vida cotidiana; sus ideas “previas” se basan en informaciones incompletas proporcionadas por su interacción de sus sentidos junto con los hechos de la naturaleza.

Entonces claramente nos podemos preguntar ¿cuál es el objetivo de la ciencia?,. La labor de la educación científica es proporcionar a los alumnos esa orientación que por ellos solos les es imposible alcanzar (Pozo y Gómez 2001), los profesores deben servir de guía a sus estudiantes para la elaboración del conocimiento científico, sus enseñanzas deben proporcionar esas actitudes cambiantes como seres críticos hacia la sociedad, los currículos en ciencias deben estar diseñados de forma que permitan la ejecución de los diferentes objetivos que la educación en ciencia se plantea, pensados a las diferentes necesidades de los estudiantes, es decir como una muy buena ayuda pedagógica.

En la educación escolar, educación básica primaria y secundaria el panorama en ciencias no debe ser diferente, los estudiantes deben de proveer de herramientas básicas que les permitan reconocer el mundo que les rodea, los estándares básicos de

competencias en ciencias naturales (2004, pág. 96) del Ministerio de Educación Nacional MEN, manifiestan "... formar en Ciencias Sociales y Naturales en la Educación Básica y Media significa contribuir a la consolidación de ciudadanos y ciudadanas capaces de asombrarse, observar y analizar lo que acontece a su alrededor y en su propio ser; formularse preguntas, buscar explicaciones y recoger información; detenerse en sus hallazgos, analizarlos, establecer relaciones, hacerse nuevas preguntas y aventurar nuevas comprensiones; compartir y debatir con otros sus inquietudes, sus maneras de proceder, sus nuevas visiones del mundo; buscar soluciones a problemas determinados y hacer uso ético de los conocimientos científicos, todo lo cual aplica por igual para fenómenos tanto naturales como sociales". Esto requiere entonces de un trabajo riguroso y sofisticado de aquellos comprometidos por la mejora en la educación escolar en Colombia, la enseñanza en ciencias no es solo un proceso algorítmico capaz de llenar la mente de los estudiantes antes de reestructurar este, su objetivo es diferente como se pudo observar.

¿Realmente esto sucede en las instituciones educativas del país?, pregunta que por obvias razones nos limitaremos a no responder y de la cual el lector sin duda tiene alguna respuesta; Sin embargo de manera un tanto controversial nos atrevemos a mencionar que la enseñanza en ciencias es sin duda de una forma "tradicional", el conocimiento científico es tomado como algo ya acabado sin precedente alguno, nada que un estudiante pueda proporcionar o por lo menos cuestionar, por esto se enseña de esta manera, a los estudiantes se les presentan contenidos que ellos deben de aprender y digerir, contenidos ya elaborados por científicos de tal manera que la última opción que tienen es de aprenderlos, un conocimiento absoluto, donde el profesor tiene la verdad y los buenos estudiantes son aquellos que reproducen correctamente los diferentes conocimientos que el profesor ha proporcionado a través de evaluaciones algorítmicas.

Lo que se ha encontrado a lo largo del documento es que la adquisición del conocimiento científico es un trabajo riguroso no lineal que requiere un cambio en las estructuras conceptuales y las estrategias habitualmente utilizadas, la enseñanza tradicional debe ser remplazada por nuevos métodos pedagógicos capaces de contribuir a estos nuevos mecanismos de aprendizaje, y esta brecha puede ser

disminuida gradualmente si se tiene en cuenta la diferencia entre las estructuras del conocimiento cotidiano y científico.

6.1 Origen y estructura del conocimiento cotidiano.

“El objetivo del profesor, no es el objetivo del estudiante” (Osborne y Freyberg 1995), en muchas situaciones dentro del aula de clase el estudiante no comprende para que le sirve el conocimiento nuevo que tiene que aprender (que en ocasiones el docente también desconoce), comúnmente encontramos preguntas como, ¿profesor y eso para que me sirve en mi vida cotidiana?, no se necesita saber las propiedades de la derivación o integración para acercarse a un supermercado y comprar víveres. Los estudiantes interpretan a su forma los conocimientos que el profesor dice o explica, que es, diferente a la interpretación racional del docente, el conocimiento se ve modificado a la transposición entre cada ser humano; el lector por ejemplo, puede tener una interpretación muy diferente a la de los autores expuestos en estas líneas. Para presentar esto, un estudiante de quince años de una institución educativa (Cit. En Osborne y Freyberg (1995), Pág. 21) menciona:

“...Ya sabe, los profesores tienen toda esa cantidad de conocimientos, pero nosotros pensamos de manera distinta, porque hay tantas formas de captar las cosas...”

O por el contrario aquellos que culminan su proceso educativo llegan afirmar (Cit. En Osborne y Freyberg (1995), Pág. 29):

“... Si, estudiamos lo de la luz, o sea, los espejos, lentes, todas esas cosas. Sólo que yo no entendía de que iba el asunto. No tenía ninguna pista...” (Adulto entrevistado)

Estas formas distintas de construir conceptos se generan por los diferentes conocimientos que se adquieren de la experiencia del mundo que se conoce y explora “las ideas previas”. Así, cuando el docente presenta su conocimiento, el estudiante los interpreta a su modo, genera su modelo y lo compara con su conocimiento previo consciente o inconscientemente por insignificante que sea. Pero el conocimiento nuevo no genera impacto si este no presenta algunas características que son: (Cit. En Osborne y Freyberg 1995, pág. 84)

- I. Inteligible: es decir, que se muestre Coherente e internamente consistente.
- II. Plausible: esto es, conciliable con otros criterios que ya tenga

- III. Fructífera: es decir, preferible al antiguo punto de vista por su elegancia, economía y/o utilidad; aunque los alumnos no lo planteen, por supuesto, en estos términos.

El conocimiento adquirido como nuevo debe ser un proceso adaptado al estudiante, de forma que éste lo considere tangible para su conocimiento, útil y fructífero para su práctica diaria, y es el docente quien debe proporcionar al estudiante esas herramientas, sus actividades en el aula deben estar dirigidas a desarrollar competencias y habilidades de pensamiento a través de conceptos útiles para la vida del estudiante, sus conocimientos deben presentarse como necesidades a sus prácticas y quehacer cotidiano, y esto se logra plausiblemente a través del trabajo continuo por parte del docente.

Entonces, a partir de lo mencionado podemos afirmar que el conocimiento nuevo se presenta como una comparación entre los saberes que el estudiante posee y su capacidad de adaptar y modificar estos por unos nuevos, sin embargo Pozo y Gómez (2001), mencionan al respecto que esta cuestión es sin duda uno de los problemas en el aprendizaje en ciencias; en vez del conocimiento previo adaptarse al conocimiento nuevo a través de procesos de razonamiento, es el conocimiento nuevo quien se adapta a los saberes previos de los estudiantes, y esto, por los distintos mecanismos donde se mueven estos saberes. Como se mencionó con anterioridad (capítulo 1) el conocimiento previo se mueve en un mundo realista, perceptible y controlable, el mesocosmos, y por tanto la dificultad para cambiar estas ideas, mientras que el conocimiento científico por el contrario se rige a un mundo no realista e imperceptible, el microcosmos - estructuras del reino atómico - y macrocosmos - correspondiente al reino sideral -, y claramente por qué se presenta indiferente a la conciencia humana.

Si el conocimiento cotidiano se mueve en un mundo realista, perceptible y controlable, nos queda por preguntarnos entonces, ¿cuáles son los orígenes del conocimiento cotidiano?

Pozo y Gómez mencionan (2001, pág. 98), que las concepciones alternativas tienen como un primer origen tres aspectos: Sensorial, Cultural y Escolar.

Origen Sensorial: Se forman a partir de dar respuestas a nuestras experiencias cotidianas mediante procesos sensoriales y perceptibles. Cuando deseamos resolver problemas simples de nuestro quehacer recurrimos a reglas no complejas basadas en regularidades conceptuales y simplificadas de nuestra experiencia con el mundo que nos rodea proporcionados por nuestros sentidos y el deseo de supervivencia. Sin embargo hay que tener en cuenta que estas soluciones previas no siempre son satisfactorias o basadas en una lógica científica.

Origen cultural: Se forman de la interacción directa de un individuo con un grupo de individuos presentes en una cultura y una sociedad. Los objetivos sociales de los seres humanos en comunidad es instruir a otros en sus creencias y por tanto hacer que estos se rijan y vivan bajos estos criterios, por ejemplo la iglesia, lo que proporcionan ciertos dogmas, conocimientos y creencias firmemente establecidas.

Origen escolar: Se forman de las diferentes interpretaciones erróneas que los estudiantes realizan del conocimiento instruido en la escuela; la forma de interpretar sus conocimientos sociales y culturales junto con el conocimiento científico dado en la escuela.

Las ideas previas no son entonces un conocimiento al azar, estas se presentan como soluciones a prácticas de nuestra vivencia, soluciones a los diferentes problemas sociales y culturales de nuestra interacción con la naturaleza y los seres humanos, a conceptos incomparables con los conocimientos científicos, o interpretaciones erróneas del lenguaje transmitidos entre diversas culturas, lo que impacta sin duda en la adquisición y comprensión de saberes científicos, como en física.

El conocimiento cotidiano además de preservar estos orígenes, presenta algunas características muy esenciales para entender su funcionamiento, y de acuerdo a estas características podemos afirmar, por qué los conocimientos cotidianos generan obstáculos vigentes en la adquisición de nuevos conocimientos⁷. Cesar M. y Diana H (2008, ver pág. 3):

⁷ Algunas ya mencionadas a lo largo del trabajo, y otras se van a desarrollar - no en el orden mencionado - en la parte posterior del capítulo.

- Se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades y géneros
- Son de carácter implícito
- Son elaboradas a partir de un razonamiento causal directo: La idea directa que una causa sobre un cuerpo genera un efecto en el mismo.
- Estas ideas pueden ser contradictorias si se encuentran presentes en otros contextos
- Son persistentes y presentan dificultad al cambio
- Guardan semejanza con ideas propuestas en la historia
- Interfieren con la instrucción científica
- Parecen dotadas de cierta coherencia interna

Tomando como referente esta última característica nos preguntamos, ¿cuál es esa coherencia interna que presentan estas ideas previas?, lo que nos permite a su vez preguntar, ¿Estas ideas previas se desarrollan a partir de una estructura?, o ¿algunas ideas tienen un grado de dificultad mayor en solución que otras?

Las ideas previas son constructos sociales y/o culturales de soluciones a nuestras interacciones humanas, además de la adaptación del ser humano a la naturaleza que le rodea, por consiguiente como se ha mencionado no resulta fácil evitarlas y desecharlas, por esta razón, Pozo y Gómez (2001) manifiestan al respecto que estas ideas se desarrollan bajo unos niveles de representación en donde se integran los diferentes tipos de respuestas que los seres humanos podemos atribuir a un problema común, este primer nivel superficial de representación corresponde a aquellas representaciones mentales originadas en la memoria, capaces de dar respuestas a conductas sencillas de orden sensomotriz, como juicios, predicciones, acciones verbales etc., pero que regularmente se convierten en soluciones lejanas a las científicas. Sin embargo existen otro tipo de conductas más reiteradas en nuestra experiencia a partir de unas teorías de dominio implícitas <<un dominio constituye a una área de conocimiento explícito>> debido a unos razonamientos implícitos más frecuentes de nuestra experiencia y de las diferentes representaciones mentales activadas por un mismo sujeto a un problema, y son estas ideas productos de las teorías de dominio -

según los autores mencionados - aquellas de mayor dificultad en estructurar, modificar y cambiar.

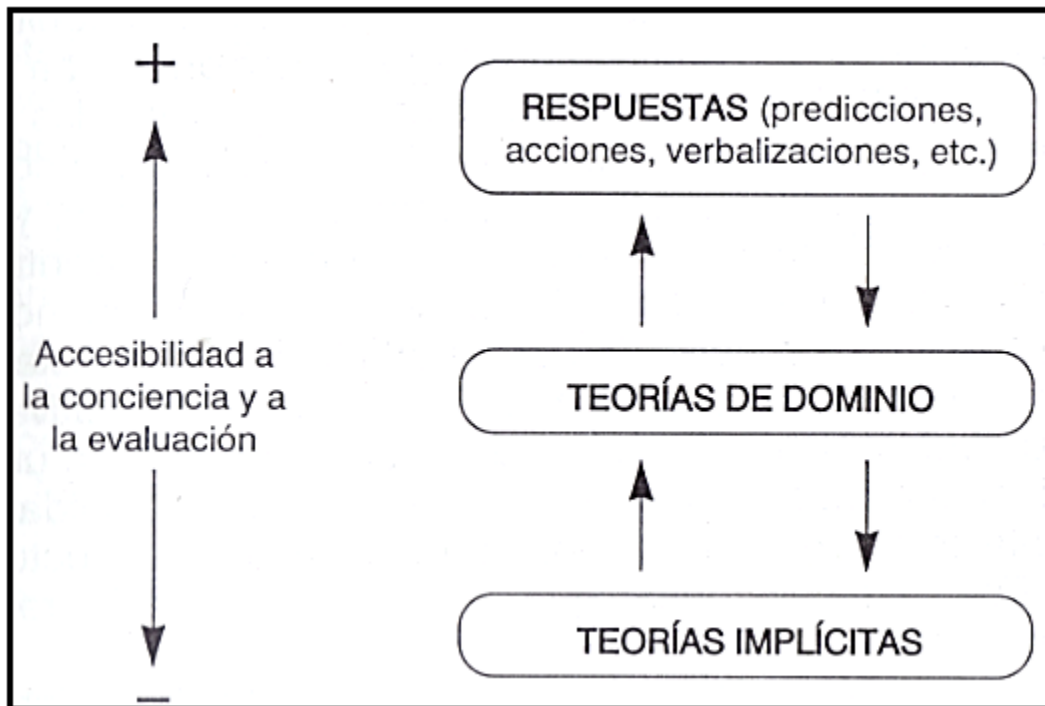


Ilustración 3 Niveles de análisis de representación, imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), pág. 104

Cuando se pide a un estudiante que responda a un tipo de pregunta problema, como la trayectoria de caída de un cuerpo, éste activa tipos de representaciones mentales como predicciones, creencias, verbalizaciones, etc., Pozo y Gómez (2001). Sin embargo una característica esencial de estas representaciones es que se trata de representaciones activadas a un problema específico situacional, Rodrigo (1997. Cit. en Pozo y Gómez 2001, pág. 105), que se construyen en demandas a problemas específicos. Estas representaciones no necesariamente están almacenadas en el sistema cognitivo del estudiante, están activadas a la conciencia del individuo como representaciones implícitas derivadas de la experiencia, y aun en su uso reiterado, estas no se presentan de manera explícita en el sistema cognitivo y por tanto no toda representación es considerada como una concepción alternativa con los orígenes mencionados, su carácter es funcional. Entonces cuáles pueden considerarse como verdaderas concepciones alternativas (las diferentes ideas previas que los estudiantes tienen de la ciencia); las ideas producto de una teoría de dominio constituidas por las

diferentes representaciones activadas por los sujetos en un dominio son consideradas como concepciones alternativas, Pozo y Gómez (2001).

Pero estas teorías de dominio presentadas de forma implícita, presentan un carácter más estable que las representaciones situacionales, debido a que son el producto de diferentes reiteraciones de representaciones con problemas similares, estas teorías de dominio se hallarían expuestas de manera explícita en la memoria del estudiante, e implícitas a la conciencia del mismo, y al ser menos accesibles a la conciencia del estudiante se vuelven más difíciles de explicar, requieren tomar conciencia de distintas representaciones situacionales en diferentes contextos, Pozo y Gómez (2001), son entonces las teorías de dominio en donde se encuentran las ideas que los docentes deben estructurar en los estudiantes.

En la figura 3, también se puede apreciar que las teorías de dominio presentan una regularidad debido a que se estructuran a partir de unos supuestos implícitos que constituyen unas teorías implícitas. “...las teorías implícitas estarían constituidas de hecho a partir de un conjunto de reglas o restricciones en el procesamiento de la información que determinarían no solo la selección de la información procesada sino también las relaciones establecidas entre los elementos de esa información...”. Pozo y Gómez (2001, pág. 107). Los autores manifiestan al respecto que estas teorías implícitas constituyen el sistema operativo del funcionamiento, y su origen se presenta de manera muy temprana, la infancia. Las teorías implícitas pueden modificar las representaciones de un individuo en un dominio, sus teorías de dominio y por tanto determinarían la manera en que se procesa un escenario en concreto, presentando así un rasgo más general que las teorías de dominio.

Entonces, el conocimiento científico presentado a los estudiantes debe trabajarse según lo anterior, como un proceso sistemático y bien elaborado, para poder corregir estas teorías implícitas que es donde se almacenan estos supuestos o principios implícitos que los estudiantes poseen de su entorno, y sus teorías de dominio se modifiquen por concepciones científicas estructuradas y sofisticadas, que son en gran parte del objetivo en la formación estudiantil.

En la dinámica newtoniana (especialmente en la segunda ley de Newton), cuáles son las teorías implícitas de los estudiantes, las teorías de dominio que los docentes deben corregir para lograr la adquisición de los conocimientos científicos en los estudiantes.

En el análisis realizado, se ha encontrado que existe diversidad⁸ de respuestas equivocadas a problemas relacionados con la dinámica newtoniana, algunas de estas respuestas se producen por la relación entre fuerza y movimiento que adquirimos de nuestra experiencia *“una fuerza en interacción con un cuerpo produce un movimiento, y si esta fuerza cesa el movimiento también lo hará”* y la dificultad en la comprensión del principio de inercia *“la idea que puede existir un movimiento sin una fuerza que lo efectúe”*. A continuación se pretende mostrar algunas de las teorías implícitas que los estudiantes conciben en el principio fundamental de la dinámica, la segunda ley de Newton y que tienen mucha relación con los problemas expuestos anteriormente.

6.2 Segunda ley de Newton (El principio fundamental).

El enunciado de la segunda ley de Newton expresa que: *“el cambio de movimiento es directamente proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime”*.

La ecuación matemática que describe esta relación, se puede reescribir como (ver marco teórico, capítulo 2):

$$\text{fuerza resultante} = m \cdot a$$

Una fuerza resultante mínima que actúe sobre un cuerpo, produce un cambio en el estado del cuerpo, los cuerpos cambian sus estados de movimiento si estos se aceleran.

6.2.1 Limitaciones del principio fundamental⁹.

El principio fundamental de la dinámica, la segunda ley de Newton, expresa la proporcionalidad entre dos magnitudes físicas, la constante de proporcionalidad en este

⁸ Algunos ejemplos se presentan posterior en el trabajo.

⁹ Limitaciones para el aprendizaje del principio fundamental se han abordado desde muchos ámbitos, para cuestiones del trabajo solo se mencionan aquellos relacionados con los objetivos del mismo.

caso es la masa del cuerpo. Un carácter principal para la comprensión de la ley es el manejo matemático del cálculo de proporcionalidades, la forma concreta de entender cuando dos magnitudes son proporcionales entre sí, y las consecuencias que esto implica. Sin embargo esto no es suficiente, aunque si necesario.

Comprender esta ley implica que el estudiante establezca relaciones entre la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo y la aceleración que experimenta el mismo, teniendo en cuenta que no todos los cuerpos experimentan con la misma fuerza la misma aceleración, factor que depende de la masa del cuerpo a mover.

Claramente el problema se traduce entonces a las relaciones entre fuerza y movimiento que el estudiante debe establecer, y que según vamos a ver más adelante, en muchos casos los estudiantes poseen concepciones diferentes a las científicas. Pozo y Gómez (2001, pág. 229, ver tabla 7.9) resumen algunas de las dificultades más frecuentes en el estudio de fuerza y movimiento.

- Dificultades relacionadas con las representaciones e interpretaciones de los movimientos: relacionadas con la dificultad para definir y explicar las características del movimiento de los cuerpos.
- Carácter vectorial de las magnitudes que describen el movimiento.
- Asociación entre fuerza y movimiento
- Interacción entre cuerpos
- Intervención de más de una fuerza.

Cesar M. y Diana H (2008, pág. 7), mencionan que las ideas más frecuentes relacionadas con el concepto de fuerza que los estudiantes poseen son, - muchas se relacionan con las expuestas anteriormente-:

- Todo movimiento tiene una causa
- En ausencia de fuerza todo objeto permanece en reposo
- Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, ésta lo único que hace es sostener el objeto, evitando así que éste se mueva.
- Los objetos para caer no requieren fuerza, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo.

- En el instante que se suelta una pelota, sobre ella no actúa fuerza alguna.
- Una fuerza constante produce un movimiento constante

En los estándares básicos de competencias en ciencias naturales (2004, pág. 141) se establece como estándar fundamental de los grados decimo y once con relación al entorno físico, que el estudiante al finalizar este año debe claramente:

“explicar las fuerzas entre objetos como interacciones debidas a la carga eléctrica y a la masa”

Algunos desempeños que el estudiante debe manejar y conocer al finalizar el grado once, y que le permiten desarrollar en medida el estándar antes mencionado, son: estándares básicos de competencias en ciencias naturales (2004, pág. 141):

- Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica.
- Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos.

La importancia de apreciar y estructurar el concepto de fuerza desde la física en los estudiantes en su etapa escolar, es claro. Pero como afecta nuestro lenguaje, cultura e interacciones sociales con los seres humanos, con la definición que atribuimos a la palabra “fuerza”.

Desde que nacemos estamos familiarizados con el movimiento, constantemente se muestra ante nuestros ojos las formas de poner un cuerpo en movimiento, la palabra “fuerza” aparece en nuestro lenguaje cotidiano reiteradas veces, la utilizamos para referirnos al esfuerzo físico que se ejerce en una actividad física, - como poner un objeto en movimiento -, y entre mayor esfuerzo físico se requiera, mayor es la fuerza que se debe aplicar, estos hechos generan nuestro primer nivel de representación (ver fig. 3), representaciones mentales almacenadas en nuestra conciencia, que divergen de las científicas ante la solución de un problema que requiera del significado de la palabra fuerza.

Nuestros sentidos nos enseñan desde la infancia que un esfuerzo físico “fuerza” suficiente nos permite poner un cuerpo en movimiento, así como pararlo o hacer que vaya en otra dirección, si esta fuerza que ejercemos cesa, entonces el movimiento gradualmente también lo hace, la relación entre la causa y el efecto es evidente <<característica del conocimiento previo. Ver pág. 54 “razonamiento causal directo”>>, un movimiento se “crea” si existe una fuerza que lo produzca, el efecto - movimiento - es producto directo de la causa – fuerza -, y sin esta causa es imposible que acontezca el efecto, por ende el principio de inercia es irrelevante (movimientos en ausencias de fuerzas o fuerzas compensadas entre sí, velocidad constante) a la conciencia del estudiante, o por lo menos difícil de aceptar, el estado de equilibrio se presenta solo como aquel donde la velocidad del cuerpo es cero.

Ante un problema específico situacional donde se necesite de la definición en física para la palabra fuerza, activamos desde la memoria recuerdos o representaciones mentales de nuestras experiencias con nuestro entorno relacionadas con el movimiento, como se mencionó con anterioridad, y en muchas ocasiones estas respuestas proporcionadas por nuestras representaciones mentales son muy diferentes a las científicas, por ejemplo ver fig. 4.

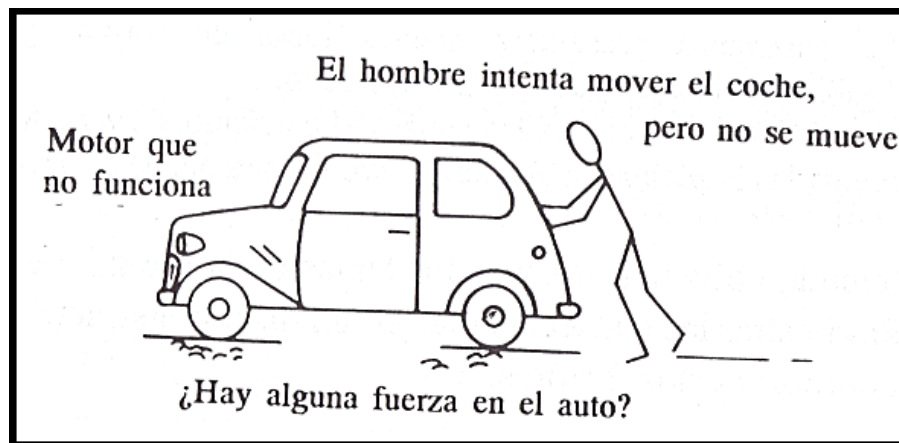


Ilustración 4 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1995), Pág. 76”

En la figura, la intención de la pregunta es conocer la idea del estudiante ante la palabra fuerza, y según lo mencionado anteriormente, esta se ve reflejada por la

interacción de su entorno y sus representaciones mentales sobre la relación fuerza-movimiento.

Respuesta de un estudiante de trece años de edad de una institución educativa. Cit. En Osborne y Freyberg (1995), Pág. 78):

“No, no creo, porque él no está forzando el auto... el coche no se moverá, será demasiado pesado... podrá enfadarse con el coche, incluso darle patadas... puede ser que luego empiece a andar... haría una fuerza si se tratara de un coche recién comprado... intentaría salvar su coche antes de dejarlo ahí tirado”

La respuesta evidencia el carácter de la relación causa-efecto entre la fuerza y el movimiento y la respuesta inocente en este caso de un niño, el coche no se mueve porque el hombre no realiza un esfuerzo suficiente, además que el auto es muy pesado para que éste lo mueva solo, por tanto no hay fuerza, esto lo refleja nuestra realidad, un cuerpo se mueve si existe una fuerza que lo empuje o hale, de lo contrario no lo hace. Claro, el estudiante reitera, si el coche es nuevo, si hay fuerza ¡nadie espera dejar su coche nuevo abandonado! Por consecuencia el hombre debe moverlo.

“... Los alumnos tienden a recurrir a un esquema causal muy simple para explicar los acontecimientos relacionados con el movimiento según la cual la relación entre la causa y el efecto es lineal y en un solo sentido...” Pozo y Gómez (2001, ver pág. 116).

La causalidad de un agente sobre un cuerpo genera un efecto en el cuerpo, pero no viceversa, la causa - efecto es lineal y no recíproca, esta se presenta en un solo sentido: *agente* → *cuerpo*, Pozo y Gómez (2001), los esquemas que utilizan los estudiantes ante problemas que involucren fuerzas presentan este carácter funcional, que es incorrecto, el pensamiento científico integra estructuras complejas de interacciones entre los sistemas y no son precisamente unidimensionales y en una sola dirección. Por ejemplo, las fuerzas ejercidas a distancias sobre cuerpos, como fuerzas gravitatorias o fuerzas eléctricas, generan mucha controversia en las mentes de los estudiantes, se acepta la idea que cuando un cuerpo cae en la tierra como una manzana, la tierra ejerce sobre la manzana una fuerza y la atrae, pero no viceversa, el problema de la interacción entre cuerpos se traduce aceptar la idea que, todo cambio

que experimenta un cuerpo es debido a un agente externo “fuerza” que lo produce – causa directa - y esta fuerza siempre aparece actuando en el sentido del movimiento, lo que se manifiesta en problema en el caso en que aparece más de una fuerza actuando sobre un cuerpo.

En el capítulo IV “*Construir a partir de las ideas intuitivas de los alumnos*” (pág. 74 – 89), Osborne y Freyberg (1995) presentan, como los niños y jóvenes realizan sus propias conclusiones a partir de sus experiencias vividas con su entorno, las ideas que sostienen de fuerza y movimiento que a su vez proporcionan una fuerte influencia sobre el aprendizaje, son en ocasiones incorrectas a las que posee un científico, la idea de que la fuerza está en un cuerpo y actúa en la dirección del movimiento, son algunas de las nociones más consecuentes en las respuestas por parte de los estudiantes al problema ¿qué causa el movimiento de un cuerpo?

A partir de una serie de investigaciones (entrevistas- sobre- ejemplos) a estudiantes comprendidos entre siete y diecinueve años, con relación al uso que estos dan a la palabra *fuerza* y sus implicaciones al movimiento, los autores nos presentan como los resultados en todos los casos son similares; los estudiantes (aun cuando algunos llevan estudiando física algún tiempo) consideran que existe siempre una fuerza continua (figura 5) que es transmitida al cuerpo justo en el contacto entre el impulsor y el impulsado, la cual permite el movimiento, y su dirección coincide con esta, idea contraria a la definición de fuerza que es aceptada hoy en día.

Para ilustrar lo anterior tomemos unos ejemplos de los muchos que el autor presenta en su texto.

Ejemplo 1

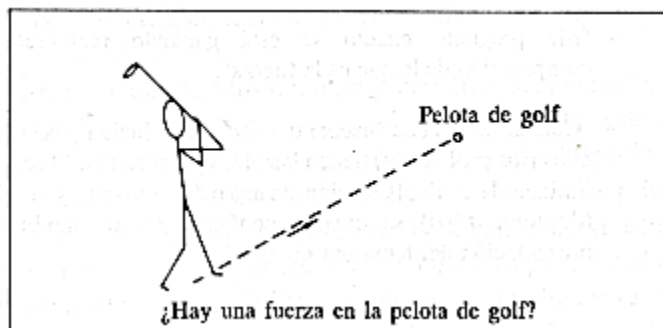


Ilustración 5 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento. "Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1998), Pág. 76"

Ejemplo 2



Ilustración 6 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza movimiento. Fig. 6 "Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1998), Pág. 76"

Osborne (1998) se basa sobre un sistema de "entrevistas-sobre-ejemplos"¹⁰ para investigar el tipo de ideas que los estudiantes normalmente presentan sobre los contenidos de la ciencia, por ejemplo el concepto de fuerza. A los estudiantes se les presentan unas tarjetas con distintos ejemplos (figura 5), posteriormente se les pide que respondan a la pregunta que cada tarjeta presenta, luego el entrevistador le pide al estudiante que trate de explicar por qué de la escogencia de la respuesta o en otras palabras, ¿por qué respondes eso?, la pregunta ilustrada en la figura 5 es: ¿existe fuerza en la pelota de Golf, cuando esta ha dejado el bate?, en la figura 6 se pregunta

¹⁰ Los métodos que utiliza el autor en su texto para sus investigaciones son dos: 1^o entrevista sobre ejemplos y 2^o entrevista sobre situaciones.

¿existe una fuerza en la bici cuando el cuerpo se presenta disminuyendo su velocidad?

Algunas de las respuestas descritas por dos estudiantes para cada tarjeta (Fig. 5 y Fig. 6) son (Cit. En Osborne y Freyberg (1998), Pág. 79):

Respuestas:

Fig. 5

- *“la fuerza de cuando se la golpeo, todavía sigue dentro de ella” Estudiante de trece años*
- *“Habrá una fuerza en la pelota transmitida por el hombre que la ha golpeado... irá disminuyéndose a medida que sube” Estudiante de dieciséis años”*

Fig. 6

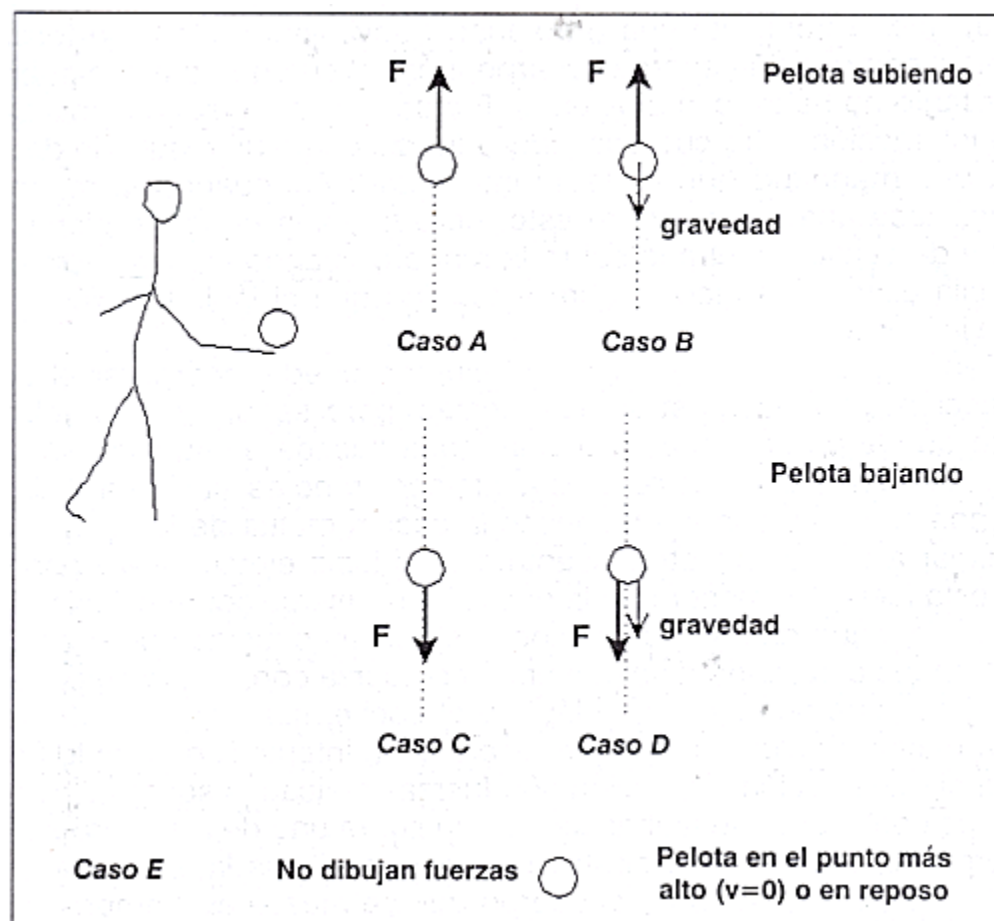
- *“Está dándose fuerza ella misma, a partir de la que le di yo antes” Estudiante de once años.*
- *“Hay una fuerza debida a la propia masa de la bicicleta... La masa de la bici ha llegado a tal velocidad que no se detendrá en el acto... la fuerza sigue todavía allí en la bicicleta... La fuerza la trasmitió la persona pedaleando y ahora sigue aún adherida a la bici; ésta se sigue movimiento hacia adelante” Estudiante de veinte años, que había estudiado 3 años de física.*

Osborne (1998), menciona que el objetivo de la investigación es conocer la definición que el ser humano atribuye a la palabra “fuerza”, teniendo en cuenta que esta será influenciada por su experiencia con el mundo y el lenguaje “vulgar” que se atribuye a la misma, la respuesta del alumno de once años por ejemplo para el caso de la figura 6, es muy similar a la respuesta del estudiante de veinte años, aun cuando este ya ha recibido un curso formal de física durante un periodo de tres años, los dos coinciden que la fuerza es transmitida al cuerpo por el agente proyector al cuerpo proyectado, teoría similar que concreto Buridán sobre el “ímpetu”. Además, en las respuestas podemos encontrar rasgos de una conexión a partir de un problema físico y el saber práctico de cada estudiante, es normal pensar que al ejercer un contacto con un cuerpo le transmitimos un “ente” al objeto, que atribuimos en nuestro lenguaje como fuerza,

<<“causa” y “efecto” del movimiento>>, que permite la existencia del movimiento, cuando esta fuerza deja de actuar y el medio consume la fuerza el movimiento no prosigue.

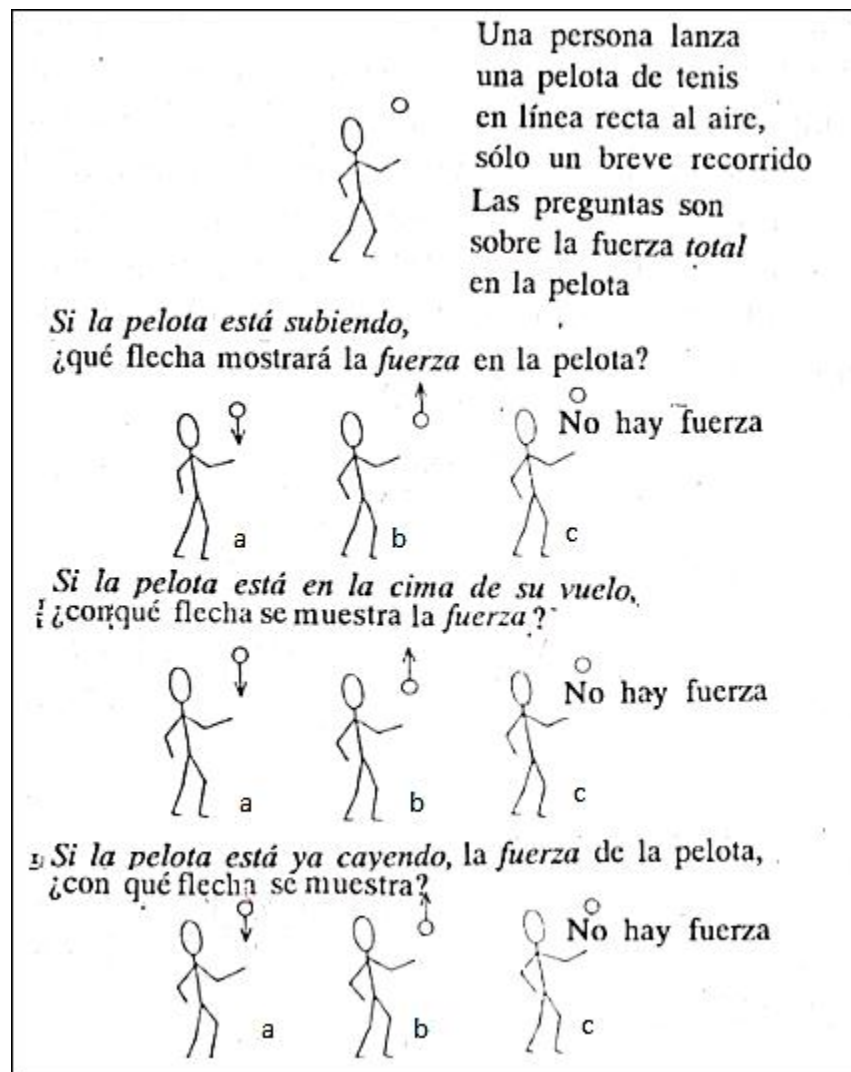
Estas ideas intuitivas subyacentes en el estudiante influyen con gran potencia en el aprendizaje de las ciencias como la mecánica de Newton, dado que esta requiere una reestructuración del pensamiento lógico acerca del comportamiento del mundo, en el texto el autor nos presenta como todos los ejemplos de las entrevistas realizadas a estudiantes, evidencian un problema entre lo que el estudiante conoce y lo que se espera debe de conocer. La consecuencia de que los estudiantes mayores en edad, presenten estas nociones no newtonianas, evidencia que sus conocimientos teóricos están mezclados con sus conocimientos erróneos de su ciencia.

Ejemplo 3



En la figura aparecen algunos tipos de respuestas de cómo interpretan los estudiantes las fuerzas que actúan sobre una pelota tirada verticalmente hacia arriba, la fuerza "causa" que impulsa la pelota está presente en el transcurso del movimiento y conlleva el sentido del mismo, caso A, B, C, D.

Ejemplo 4



Para examinar el predominio que tienen en los estudiantes la idea que debe existir una fuerza contigua en la dirección del movimiento, producto de la causa del mismo, obsérvese muy bien, las preguntas y sus respectivas respuestas 1 (b), 2 (c) y 3(a) de la fig. 8. Se utiliza una muestra de 200 estudiantes para cada año, entre trece, catorce y quince años, 100 estudiantes para cada año entre dieciséis y diecisiete años para la solución a la tarjeta; Alguno de los resultados obtenidos para las tres preguntas 1, 2 y 3 referentes al enfoque mencionado anteriormente son: Osborne y Freyberg (1998, pág. 80).

- Predominio del enfoque b – c – a en los estudiantes de trece años 46 %
- Predominio del enfoque b – c – a en los estudiantes de catorce años 53 %
- Predominio del enfoque b – c – a en los estudiantes de quince años 66 %
- Predominio del enfoque b – c – a en los estudiantes de dieciséis y diecisiete años es mayor en cada caso a los tres anteriores.

Dos rasgos importantes aparecen en el ejemplo mostrado anteriormente, en la pregunta 1 y 3 de la fig. 8, un gran porcentaje de estudiantes consideran que la fuerza que se imprime antes del movimiento persiste en el transcurso del mismo, y por ende su sentido es el del movimiento. La pregunta 2, sin embargo muestra la relación causa-efecto mencionada con anterioridad, en el punto más alto de la trayectoria de la pelota la velocidad es cero, no hay movimiento “efecto”, entonces la causa no debe existir “no hay fuerza”. Muchas de las ideas de los estudiantes mostradas en los anteriores ejemplos se relacionan con las dificultades mencionadas en la pág. 54, el problema de la relación entre fuerza y movimiento es evidente, estas respuestas equivocadas a situaciones problema se generan por las diferentes representaciones mentales de un sujeto activadas a un mismo problema, y como se mencionó antes, estas corresponden a las teorías de dominio del estudiante, que se estructuran bajo las teorías implícitas de los mismos producto de las diversas experiencias de los seres humanos en nuestros actos socioculturales.

Pozo y Gómez (2001) resume algunas de las creencias de los estudiantes ante el estudio de fuerza y movimiento, que en este caso las asociamos a las teorías implícitas

de los estudiantes fig. 10 y las relaciones (causa directa) que estas establecen, sus teorías de dominio fig. 9.

HECHOS Y DATOS de lo que parte el alumno y que le llevan a adoptar unas creencias	CREENCIAS del alumno -Los objetos se paran por si solos. Si un cuerpo está quieto es porque no actúan fuerzas sobre él. -Un movimiento constante requiere una fuerza constante. -La fuerza es una propiedad de los objetos. -La "fuerza de un objeto" depende de sus características externas (por ejemplo, su tamaño)
---	--

Ilustración 9 Hechos y creencias de los estudiantes del movimiento. "Imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), Pág. 231

CAUSALIDAD LINEAL Y UNIDIRECCIONAL	RELACIONES CAUSALES que establece el alumno -La causa del movimiento es siempre una causa adquirida. Esa causa es una fuerza -Siempre hay una fuerza responsable del movimiento con el mismo sentido que él. Para que un cuerpo adquiriera fuerza es necesario que otro lo empuje (una persona) o lo atraiga (la tierra) -La "cantidad de movimiento" de un cuerpo es proporcional a la cantidad de fuerza que posee -Los cuerpos se paran cuando la fuerza se gasta -La fuerza depende solo del agente que realiza la acción (mano que empuja, la Tierra, un imán, etc.) -En caso de que haya interacción, un objeto se ve privilegiado sobre el otro (por ejemplo, el más grande)
------------------------------------	---

Ilustración 10 Teorías implícitas del estudiante del movimiento. Fig. 10 "Imagen tomada de Pozo y Gómez (2001), Pág. 231

En el transcurso del capítulo 2 se pudo observar que la historia del movimiento nos muestra que la idea de una fuerza contigua persistente y de igual sentido al del movimiento era considerada por científicos medievales, como Jean Buridán, entre otros. Osborne y Freyberg (1998 pág. 82 capítulo IV) manifiestan "...la idea de que la fuerza está en un cuerpo y actúa en la dirección del movimiento, era algo ampliamente sostenidos por los físicos parisienses del siglo XIV encabezados por Buridán..", en este capítulo Osborne considera que las nociones intuitivas del estudiante, cuando se le pregunta acerca de las fuerzas que actúan en un movimiento (como lanzar una piedra verticalmente hacia arriba), son muy similares a las nociones que tiempos atrás eran consideradas por la comunidad científica, por el Astrónomo Hiparco, el teólogo Juan

Filópono y el filósofo francés Jean Buridán con su “teoría del ímpetu”, retomemos un ejemplo mostrado anteriormente, (ver fig. 8). La intención del autor, es mostrar la gran influencia que mantienen los estudiantes con la idea de una fuerza contigua en el movimiento, y como se ha mencionado a lo largo del trabajo estas ideas previas nacen de la necesidad del ser humano por explorar el mundo en que viven y las relaciones socio-culturales que se establecen, las interpretaciones erróneas del conocimiento científico, y las indiferencias que presentan estos conocimientos a los intereses de los estudiantes, en la figura 11 se puede apreciar el gran porcentaje de estudiantes con un punto de vista diferente al newtoniano, en especial los estudiantes mayores que incluso han recibido un curso formal de física.

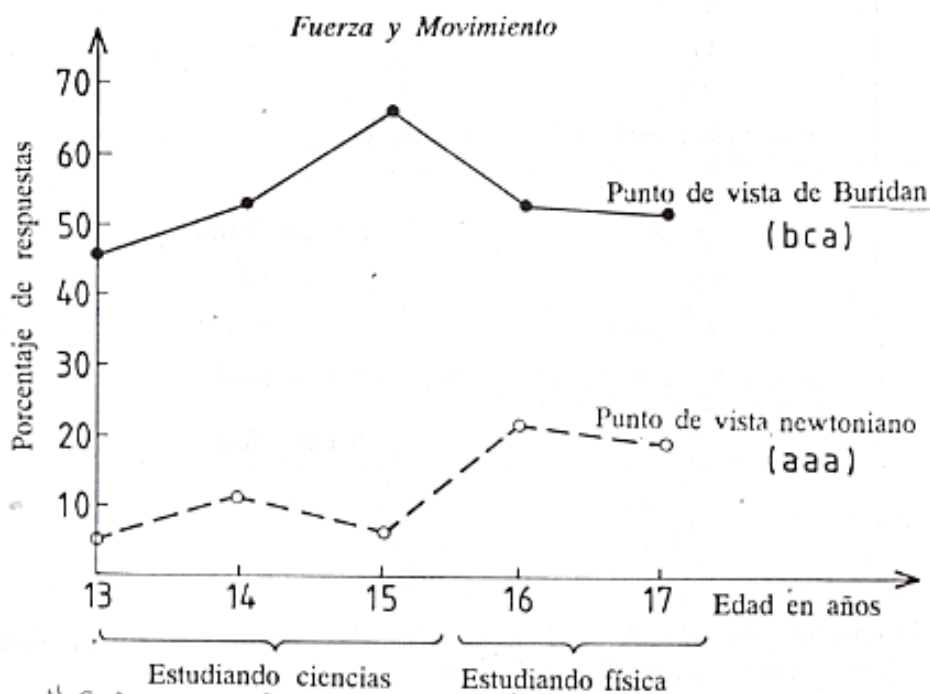


Ilustración 11 Ideas de los estudiantes sobre la relación fuerza y movimiento. “Imagen tomada de Osborne y Freyberg (1995) Pág. 81”

La teoría intuitiva del movimiento de los estudiantes, asociada a la física impresa, se puede resumir en el siguiente recuadro¹¹:

¹¹ Algunos autores, como Uribe (2010), denotan estas ideas como la física aristotélica de los estudiantes, por la similitud entre las ideas más frecuentes de los estudiantes ante la relación fuerza-movimiento, y el principio de Aristóteles “Todo lo que se mueve es movido por otro”.

1. El movimiento es algo *absoluto*: la “velocidad verdadera” de un cuerpo es una característica inherente al cuerpo en si en cada instante.
2. Estar en movimiento (la condición de un objeto fuera del reposo, cuya velocidad no es nula), es siempre efecto o resultado de una causa motriz, la cual permanece y subsiste en el objeto: “lo que se mueve es movido por otro”.
3. Tal causa motriz proviene del impulsor o propulsor, que puso al cuerpo en movimiento, mediante el cual prolonga su efecto a pesar de haber dejado de estar en contacto directo con el cuerpo.
4. La causa motriz es proporcional a la velocidad: si aumenta la intensidad de la causa, aumenta la velocidad.
5. La causa motriz va “gastándose” o consumiéndose a medida que transcurre el movimiento y, por tanto, la velocidad va disminuyendo.

Ilustración 12 Teorías implícitas de los estudiantes. “Imagen tomada de Uribe (2010) Pág. 29

Los niños aprenden desde su infancia que hay “algo” que afecta el movimiento, y que lleva la etiqueta de “fuerza”, por esto no es extraño que los estudiantes afirmen que esta fuerza proyectada sobre el cuerpo se introduzca en el mismo y de continuidad al movimiento, los sentidos no lo enseñan constantemente, sin una fuerza un movimiento es imposible, las características del movimiento como la velocidad aumentan a medida que la fuerza proyectada aumenta, y cuando el contacto cesa el movimiento disminuye a medida que la fuerza se va gastando, el problema se traduce en la transmisión al conocimiento científico, en física la etiqueta para la continuidad del movimiento no es para la fuerza, es la cantidad de movimiento la responsable y como se detalló en el capítulo 2, la cantidad de movimiento no es una fuerza, los movimientos no necesariamente necesitan de un agente externo, su cualidad de materia o inercia inherente al mismo permite los movimientos infinitos – *in aeternum* -. Por otra parte, Uribe (2010, pág. 27), afirma: “*Todos los niños son científicos informales y en sus juegos descubren cómo se comportan las cosas haciendo experimentos (sin ser conscientes de ello) e interpretando lo que observan [...], No importa que en este continuo proceso de aprendizaje espontaneo no sigan métodos científicos rigurosos. Las teorías intuitivas e inconscientes sobre el movimiento que todos hemos desarrollado de esa manera, son sorprendentemente parecidas a lo largo y ancho del mundo. Por esto no extraña que sean parecidas a las teorías formales y conscientes sobre el movimiento que sostuvieron los científicos medievales anteriores a Newton durante muchos siglos*”.

Solo nos resta por preguntarnos, ¿Cómo vencer progresivamente estas ideas previas de los estudiantes de la relación fuerza-movimiento?, de tal manera que los docentes del área logren la transmisión de saberes adecuados a las necesidades de sus estudiantes, unos caminos solidos pero flexibles hacia una conceptualización de la física de Newton.

El cambio conceptual no es un proceso abrupto y a corto tiempo, por el contrario es un proceso lento y sofisticado, las ideas nuevas presentadas a los estudiantes, como se mencionó al principio del presente capítulo deben presentarse como verdaderas necesidades, útiles y prácticas para sus vidas diarias, sus ideas previas deben confrontarse plausiblemente con las teorías científicas, demostrando al estudiante que en distintos escenarios sus ideas son irrelevantes y deben ser reemplazadas, en física donde los contenidos curriculares se asemejan en notoriedad a los procesos de la naturaleza, y donde los estudiantes esta tan familiarizados con estos procesos, se necesita de una confrontación lenta y sofisticada además llena de argumentos que convenzan al estudiante de modificar sus saberes por unos nuevos, la elegancia con que el docente presente sus contenidos, sin duda alguna le van a permitir al estudiante de querer aprenderlos y adaptarlos a sus prácticas diarias. Pozo y Gómez (2001), mencionan que el cambio conceptual, de las teorías implícitas a las teorías científicas, requiere por parte del docente entender las diferencias en las estructuras mencionadas, por ejemplo las teorías científicas presentan esquemas de interacción entre sistemas en ocasiones complejas, la causalidad no es lineal como sucede en las teorías implícitas. En la física de Newton, es muy importante reconocer las interacciones que el estudiante debe establecer para lograr el cambio conceptual antes mencionado.

INTERACCIÓN Y SISTEMAS El objetivo de la educación secundaria	INTERACCIÓN ENTRE CUERPOS Y SISTEMAS -Para que haya fuerza es necesaria una interacción entre dos o más cuerpos -La fuerza es un medida de la interacción -La interacción es mutua y simétrica (acción y reacción) -Cuando un cuerpo se para es porque actúa una fuerza en contra del movimiento -Cuando sobre un cuerpo no actúan fuerzas, o están equilibradas, permanece en reposo, si ya lo estaba, o sigue en moviéndose con velocidad constante y en línea recta (inercia)
---	--

Los aspectos mencionados en la figura 13 se trabajaron en el capítulo 2, el estudiante al finalizar el año escolar debe estar en la capacidad de, explicar que la fuerza resulta de la interacción entre sistemas, las fuerzas no existen aisladas, la fuerza no se impregna en el cuerpo, las acciones entre cuerpos generan una reacción, los movimientos uniformes no necesitan de una fuerza externa, la cantidad de movimiento es la cualidad del cuerpo que permite el movimiento del mismo, en ausencias de fuerzas resistivas los movimientos prosiguen indefinidamente, los estados de reposo son dos, los movimientos son relativos y no absolutos, entre muchos otros. El lector se puede preguntar después de una lectura minuciosa del documento, ¿cómo lograr una satisfactoria enseñanza?, que actividades debe desarrollar en el aula para un óptimo aprendizaje que permita que el estudiante cuestione e interiorice todos los ítems mencionados anteriormente, cómo motivar a sus estudiantes para fomentar en ellos un pensamiento crítico dentro del área, lamentablemente el objetivo del trabajo escapa a estas preguntas, pero se puede encontrar un sin número de documentos claves en muchos ámbitos, que reflexionan sobre el aprendizaje significativo de la física de Newton, se invita al lector que no dirija sus clases de forma monótona y tradicional, el proceso de enseñanza requiere por parte del docente su compromiso en indagar sobre los contratiempos que se puedan tener en cada uno de los contenidos impartidos en clase, y sin duda reconocer que lo que el estudiante conoce y sabe es importante para el aprendizaje.

7. CONCLUSIONES

La enseñanza de las ciencias naturales en la educación escolar no es un proceso ligado al aprendizaje de conocimientos absolutos, no es el aprendizaje por solitario de cada integrante en el aula (estudiantes), seres alimentados del poder de superar a sus compañeros y sobresalir ante los demás, o por el contrario no corresponde a la enseñanza de saberes sin una motivación de aprenderlos, los objetivos de la educación en ciencia se desvirtúan totalmente de estas apreciaciones y de muchas otras.

La educación escolar en ciencia como lo menciona los estándares básicos de competencias en ciencias naturales (2004, Cit., en el capítulo 3), tiene como objetivo formar personas integras, capaces de comprender, asombrarse y analizar lo que sucede a su alrededor, seres dispuestos a trabajar en colectivo, establecer relaciones interpersonales con el otro, pero sobre todo de compartir sus ideas del mundo con el mundo. La presente propuesta de investigación tuvo como objetivo mostrar que uno de los orígenes de las dificultades que los estudiantes en física presentan con relación a la segunda ley de Newton, tienen una estrecha relación con las ideas (ideas previas) que los estudiantes poseen del mundo que les rodea, en especial de las analogías que los niños establecen entre fuerza y movimiento, la idea sutil que la realidad les muestra, la causa de un movimiento es la consecuencia de una fuerza que actúa sobre el cuerpo y se imprime en el mismo.

Para demostrar lo anterior, se utilizaron las fuentes bibliográficas mencionadas en la bibliografía, con lo que se logró observar que las ideas de los niños sobre el movimiento se arraigan a la idea de una fuerza como productora de movimiento, además esta fuerza se imprime en el cuerpo y disminuye gradualmente, ideas muy semejantes a las expuestas por los físicos medievales, como la teoría expuesta por Jean Buridán sobre el ímpetu, y el principio fundamental de la filosofía aristotélica “Todo lo que se mueve es movido por otro”, claro es conveniente mencionar que las ideas de los estudiantes no presentan el tecnicismo con que cada autor (físico) las expone, los trabajos de los físicos no son producciones derivadas de una experiencia ingenua, por el contrario son constructos de largas horas de reflexión y discusiones a los problemas inmersos en la naturaleza, pero en esencia se constató que las teorías

pre-científicas de los estudiantes coinciden en grandes proporciones, a las teorías de los físicos medievales.

Además, en las revisiones bibliográficas se pudo evidenciar que las experiencias humanas fomentan ideas firmemente establecidas en la conciencia de los individuos, y estas ideas se estructuran a partir de las representaciones que activamos a un mismo problema, y estos marcos de donde derivan nuestras ideas los moldeamos y adecuamos a nuestras prácticas diarias, por esta razón, la necesidad de aprender contenidos nuevos irrelevantes a nuestras necesidades humanas nos parecen desvirtuadas e ilógicas ¡Para qué aprender algo que no me sirve!.

También se constató que los estudiantes desde sus pre-saberes desarrollan estructuras de conocimientos lineales, por ejemplo la causa del movimiento es un efecto lineal entre el agente y el cuerpo, entre la fuerza y el movimiento, pero no aceptan la idea de interacción mutua entre sistemas. Las interacciones complejas entre los sistemas que se establecen en los conocimientos científicos, no son modelos fáciles de aceptar por los estudiantes, como se mencionó en el capítulo 3, se acepta la idea que la tierra atrae la manzana pero no viceversa, la ciencia exige un pensamiento racional que debe superar el lógico.

Entonces, la conclusión lograda a través de la elaboración de este documento, es que los docentes deben replantear las prácticas con que diseñan sus clases, las nuevas ideas científicas enseñadas en el aula de clase deben contrastar las ideas previas de los estudiantes, los modelos científicos no deben reemplazar instantáneamente a los modelos de los estudiantes, este trabajo requiere de un ejercicio paulatino y sofisticado por parte de los docentes, en últimas la enseñanza de la mecánica debe ser un proceso de adaptación donde el estudiante cuente con las herramientas de cuestionar y replantear lo que a diario experimenta.

8. BIBLIOGRAFÍA

Anaconda, M. (2003). *La historia de las matemáticas en la educación matemática*.

Revista Ema 2003, vol. 8, nº 1, 30-46. Colombia: Universidad del Valle.

Crombie, A. C. (1959). *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, España: Alianza Editorial, S. A. (7⁰ Reimpresión). Versión española de José Bernia (1996).

Feynman, R. (1965). *El carácter de la ley de la física*. España: Tusquets Editores, S. A, Barcelona, traducido al español por, Antoni Bosh (2000), 3^a edición, Marzo (2010).

Guzmán, M. (1993). Tendencias innovadoras en Educación Matemática (pág. 62 – 87). En Gil, P. D. & Guzmán, M. *Enseñanza de las ciencias y la Matemática: tendencias e innovaciones*. Organización de Estados iberoamericanos para la educación, la ciencia y la cultura. Editorial popular.

Hawking, S. (2002). *A hombros de gigantes: las grandes obras de la física y la astronomía* (2⁰ Ed.). España: traducido al español en el 2003 por Crítica, S. L.

MEN (2004) Ministerio de Educación Nacional: *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales*

Mora. C & Herrera. D (2008). *Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza*. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México D. F. 2 Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud, Unidad Sto. Tomás, Av. De los Maestros s/n, Col. Sto. Tomás, C. P. 11340, México D. F.

Osborne, R. & Freyberg, P. (1995). *El Aprendizaje de las ciencias: influencia de las "ideas previas" de los alumnos*: España: Narcea, S. A. De Ediciones. (2^a Ed.). Traducción de Jorge L.

Osborne, J. & Freeman, J. (1989). *Enseñando física una guía para el no especialista*: Madrid, España: Ediciones Akal, S. A. Traducción y Adaptación de German Lorenzo.

Peduzzi, L.O.Q. & Zylbersztajn, A. (1997). *La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la dinámica* (pág. 351 – 359). Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Educação / Ensino de Ciências Naturais. Universidade Federal de Santa Catarina. 88049-900. Florianópolis. SC Brasil.

Pozo, J. I. & Gómez, M. A (2001). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (3ª edición). España: Ediciones Morata, S. L

Sepúlveda, A. (2003). *Los conceptos de la física: evolución histórica* (2ª Ed.). Colección ciencia y tecnología. Colombia: Universidad de Antioquia.

Uribe, C., (2010). *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento “desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana”*. Colección ciencias físicas exactas y naturales. Colombia: Universidad del Valle.