UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

La segunda ley de Newton: propuesta didáctica para estudiantes del grado décimo de educación media de la escuela normal superior de Neiva

Yamid Mosquera Medina

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

La segunda ley de Newton: propuesta didáctica para estudiantes del grado décimo de educación media de la escuela normal superior de Neiva

Yamid Mosquera Medina

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:
Dr.Rer.Nat. José Daniel Muñoz Castaño

Línea de Investigación:
Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

A mi esposa, Sandra y a mis hijos: Ángela María y Jesús David, por su incondicional apoyo y comprensión, permitiendo que una idea se transformara en realidad.

Agradecimientos

Al profesor José Daniel Muñoz castaño, por disposición y colaboración oportuna. Sus valiosos aportes para el desarrollo de este trabajo, contribuyeron a mi crecimiento profesional y personal. También a su esposa, Jazmine Escobar Pérez, por su asesoría y colaboración con el análisis de los resultados.

Al profesor de física Alfredo Osorio Serrato, por cederme el grupo 1003 para implementar la propuesta, por su constante apoyo logístico y por sus contribuciones al desarrollo de la propuesta.

A los estudiantes de la sección 10-03 de la Escuela Normal Superior de Neiva jornada mañana, por hacer posible el desarrollo de este trabajo.

Al profesor de matemáticas Jorge Narváez Coral, por su motivación constante por medio de sus comentarios y aportes.

Resumen

La segunda ley de Newton es el concepto central de la mecánica. Sin embargo, es muy difícil de construir para estudiantes de secundaria, pues ya cuentan con ideas previas muy arraigadas que incluso dan predicciones correctas en algunos casos. Al mismo tiempo, los textos de secundaria no construyen la ley de manera intuitiva, sino que la presentan como una fórmula. El presente trabajo presenta una propuesta didáctica para la construcción intuitiva de la segunda ley de Newton a partir del concepto de cantidad de movimiento. Las temáticas se introducen con actividades donde los estudiantes son los protagonistas, y sus ideas previas se trabajan con discusiones mayéuticas alrededor de situaciones problema que se ilustran, siempre que es posible, con montajes experimentales demostrativos en clase, que se complementan con herramientas TIC. La propuesta se implementó con el curso 03 de grado décimo de la Escuela Normal Superior de Neiva. Al aplicar el test *Force Concept Inventory* antes y después de su implementación, se evidencia una mejora estadísticamente significativa en los puntajes obtenidos por los estudiantes. De hecho, el puntaje del primer cuartil del postest alcanza el nivel del tercer cuartil del pretest. Además, los estudiantes se mostraron motivados, aumentaron su capacidad de argumentación y la mayoría cambiaron sus ideas previas de fuerza y movimiento. La propuesta es, por lo tanto, una alternativa efectiva y enriquecedora para la enseñanza de la segunda ley de Newton.

Palabras clave: Segunda ley de Newton, mecánica newtoniana, física en secundaria, enseñanza de la física, fuerza, momentum.

Abstract

Newton’s second law is the central concept in mechanics. Nevertheless, it is very hard to build by students in high school, since they already have deeply rooted false ideas that even give the right prediction in some cases. In addition, most high-school physics test do not construct the law in an intuitive way, but they introduce it just as a formula. This work presents a didactic proposal for the intuitive construction of Newton’s second law, starting from the concept of linear momentum. The subjects are introduced with interactive activities, where the students play the main characters, and their false ideas are worked out with the maieutic method around exercises that are mostly illustrated with mechanical setups and computer applets and videos. The proposal was developed with students of 10th year at the *Escuela Normal Superior of Neiva* (Colombia). On applying the *Force Concept Inventory* test as pre- and postest, one measureas a statistically significant improvement on the scores. Actually, the first quartile in the postest reaches the value of the third quartile in the pretest. Moreover, the students shown motivated and increased their argumentative skills, and – more important – most of them refusing their false ideas and embraced the right concepts on force and movement. Our proponsal is, therefore, an effective and enriching alternative for the teaching of Newton’s second law.

Keywords: Newton’s second law, Newtonian mechanics, high-school physics, physics teaching, force, momentum.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XV**

1. Introducción **1**

2. Contexto histórico **5**

3. Concepto de fuerza **13**

4. Cómo se enseña el concepto de Fuerza y la segunda ley de Newton **17**
4.1 Estudios acerca del aprendizaje del concepto de fuerza. 17
4.2 Las indicaciones de los estándares del MEN 19
4.3 Cómo se enseña el concepto de Fuerza y la segunda ley de Newton en los textos de Educación media en Colombia. 20

5. Propuesta didáctica **25**
5.1 Sesión No. 1: Escalares, vectores, desplazamiento y trayectoria. 26
5.2 Sesión No. 2: Actividad práctica para el reconocimiento y comprensión del concepto de velocidad. 27
5.3 Sesión No. 3: Las fuerzas, su naturaleza y tercera ley de Newton. 29
5.4 Sesión No. 4: Cantidad de Movimiento y segunda ley de Newton 31
5.5 Sesión No. 5: Solución de problemas 34

6. Resultados **37**
6.1 Marco de aplicación. 37
6.1.1 Descripción de la Institución Educativa. 37
6.1.2 Descripción del grupo de trabajo. 37
6.2 Resultados cualitativos. 38
6.3 Resultados Cuantitativos 39

7. Conclusiones y recomendaciones **43**

Bibliografía **47**

A. Anexo: Guía sobre cantidades escalares y vectoriales **51**

B. Anexo: Guía sobre velocidad **67**

C. Anexo: Guía sobre las fuerzas y su naturaleza 70

D. Anexo: Guía sobre cantidad de movimiento y segunda ley de Newton 81

E. Anexo: Force Concept Inventory 91

Lista de figuras

Pág.

Figura 2-1: Estructura Aristotélica del Universo 5
Figura 2-2: Las regiones del mundo según Aristóteles. 6
Figura 2-3: Versión geométrica del teorema de la rapidez media de Oresme (1350). Las líneas horizontales indican velocidad, y la línea vertical indica tiempo. A medida que el tiempo transcurre de A a B, la velocidad crece proporcionalmente desde cero hasta el valor EB. El valor GA es la velocidad media, de forma que el área del cuadrado GABF es la distancia recorrida. 8
Figura 2-4: Deducción debida a Galileo (1609) de que para un cuerpo en caída libre la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo transcurrido. Tomemos el teorema de Oresme y veamos qué pasa con el movimiento en tres intervalos de tiempo iguales: AC, CI e IO. La velocidad media del primer intervalo es DA, y por lo tanto la distancia recorrida en ese intervalo es el área del rectángulo DACE. La velocidad media del segundo intervalo es BC, que es tres veces mayor que la velocidad DA, y por lo tanto la distancia recorrida en ese segundo intervalo es tres veces mayor. De forma similar, la velocidad media en el tercer intervalo es FI, cinco veces mayor que DA, y por lo tanto la distancia recorrida es cinco veces mayor. Las distancias recorridas en cada intervalo son, entonces, 1, 3 y 5 veces la del primer intervalo, y sus sumas dan las distancias totales recorridas en 1, 2 y 3 intervalos de tiempo: 1, para el primero; 1+3=4, para el segundo, y 1+3+5=9, para el tercero. En conclusión, la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo: $1=1^2$, $4=2^2$ y $9=3^2$. 9
Figura 2-5: Anotaciones originales del experimento de Galileo (a la izquierda, la hoja original, y, a la derecha, una transcripción moderna). Los cálculos en la mitad de la hoja evidencian que Galileo usaba una regla con 60 divisiones. Las simas totales se consignan a la izquierda, y los signos + y – que Galileo coloca al lado de estas medidas indican que el dato experimental está por encima o por debajo de lo que él había predicho. 10
Figura 2-6: Razonamiento de Galileo para la inercia: Un cuerpo se desliza sobre una superficie sin nada de rozamiento. Si el plano está inclinado levemente hacia abajo, el cuerpo acelerará; si está levemente inclinado hacia arriba, el cuerpo frenará; luego, si está horizontal, el cuerpo no debe ni acelerar ni frenar, sino que debe mantenerse a velocidad constante. 11
Figura 3-1: Vectores cantidad de movimiento y velocidad de una partícula. 14
Figura 5-1: Desarrollo de las actividades sobre velocidad. 29
Figura 5-2: Desarrollo de las actividades de la sesión 3. 31
Figura 5-3: Desarrollo de las actividades de la sesión 4. 33

Figura 5-4: Desarrollo de las actividades de la sesión 4, con la participación del profesor Alfredo Osorio Serrato. 34
Figura 5-5: Solución de problemas con apoyo de simulaciones Online..... 36
Figura 6-1: Comparación de los resultados del pretest y el postest. A la izquierda, diagramas de cajas. A la derecha, resultados de la aplicación del test de Wilcoxon. 40

Lista de tablas

Pág.
Tabla 6-1. Test de normalidad para el pretest y el postest. 39
Tabla 6-2. Estadísticos descriptivos para las dos pruebas. 40
Tabla 6-3. Medias y variancias para las subescalas. 41
Tabla 6-4. Diferencias entre pre y post para las cinco subescalas. 41
Tabla 6-5. Correlaciones entre las cinco subescalas en el postest. 42

1. Introducción

La segunda ley de Newton es el concepto central de la mecánica. La idea de que, una vez en movimiento, las cosas se mueven solas, y de que los empujones y halones que hacemos sobre ellas (es decir, las fuerzas) cambian su movimiento es la base de casi todas las construcciones posteriores de la física. Sin embargo, esta idea es muy difícil de construir para estudiantes de secundaria. La razón principal es que los estudiantes ya cuentan en ese momento con ideas previas, o preconcepciones muy arraigadas en la intuición del estudiante (Campanario y Otero 2000). En efecto, Pozo y Carretero (1987) mencionan que la "comprensión se ve obstaculizada por la existencia de concepciones espontáneas muy persistentes, reacias al cambio y, por si esto fuera poco, decididamente contrarias a los conceptos que se les pretende enseñar…". Una revisión de las ideas previas acerca del concepto de fuerza, hecha por Mora y Herrera (2008), encuentran 12 ideas previas comunes en los artículos de investigación revisados, destacándose las siguientes: todo movimiento tiene una causa (la fuerza o la gravedad); los obstáculos pueden redireccionar o detener el movimiento, pero ellos no pueden ser agentes que apliquen fuerzas; en el instante en que se suelta una pelota, sobre ella no actúa fuerza alguna; una fuerza constante produce una velocidad constante, expresada como $F = mv$. El arraigo de estas ideas previas radica en que, a pesar de ser erradas en general, explican casos particulares de manera correcta. Por ejemplo, la velocidad de un auto alcanza, por efecto del rozamiento viscoso del aire, un valor límite que es proporcional a la fuerza con que lo impulsa el piso, y todas las fuerzas de la vida cotidiana, a excepción hecha de la fuerza de gravedad, son de contacto y ninguna a distancia. En consecuencia, el aprendizaje de los conceptos de fuerza y movimiento, provoca de manera inherente un conflicto entre las ideas alternativas o preconcepciones y el pensamiento científico. La pregunta es, entonces, cómo lograr que los estudiantes abandonen sus ideas previas y reconstruyan su intuición sobre el fundamento sólido de las leyes físicas correctas.

Diversos investigadores han realizado propuestas didácticas para mejorar la comprensión de los conceptos de fuerza y movimiento, unos con mejores resultados que otros. Estas propuestas incluyen trabajo colaborativo, experimentos, y enfoques histórico o contextuales que toman como punto de partida las experiencias previas de los estudiantes. Por ejemplo, en un trabajo de investigación con docentes, García y Dell'Oro (2001), proponen algunas actividades para identificar las dificultades que presentan los maestros en torno a las leyes de Newton, diseñadas desde la perspectiva cognoscitiva y dentro del marco de la "interacción social", para luego buscar la modificación de las ideas previas tomando como hilo conductor la historia de la ciencia. Los resultados indican que la mayoría de los individuos no aprenden los conceptos de mecánica de forma significativa debido a la persistencia de sus ideas previas. En un trabajo reciente, Barragán Gómez (2011) propone un modelo de enseñanza-aprendizaje que parte de una conceptuación rigurosa de las leyes de Newton, y se fundamenta en aportaciones de la

neurociencia aplicadas a la educación y un apoyo considerable en herramientas TICS, con resultados satisfactorios. Por su parte García Castro (2011) plantea una propuesta didáctica para abordar la enseñanza del concepto de fuerza por medio de actividades que proponen la solución de situaciones gráficas, recreadas y experimentadas que presentan la fuerza como la responsable del cambio del movimiento y que posibilitan la discusión de las ideas previas del estudiante. Los resultados muestran una mejora estadísticamente significativa, pero la propuesta no erradica de manera sustancial las ideas previas del los alumnos. Entre los resultados positivos, sobresale el de Rosales (2011), que propone un orden diferente para la enseñanza de la mecánica, a saber: *posición (vectores), velocidad, fuerza, aceleración* y *sistemas de referencia*, y una metodología sin TICS, basada principalmente en discusiones mayéuticas con los estudiantes. Al evaluar con una prueba de selección múltiple su implementación con un grupo de grado décimo, obtiene que la totalidad de los puntajes del postest supera el nivel del tercer cuartil del pretest, lo que evidencia la importancia del diálogo mayéutico y del uso de contraejemplos para modificar las ideas previas de los estudiantes.

Por su parte, los libros de texto en Colombia generalmente abordan la segunda ley de Newton en su forma convencional, es decir, como una fórmula que iguala la fuerza neta con el producto de la masa por aceleración. Los textos no trabajan la construcción intuitiva del concepto. En efecto, la literatura contemporánea desconoce la esencia original de la segunda ley de Newton, que se asocia a la fuerza con el cambio de la cantidad de movimiento. Se requiere de una propuesta que rescate el carácter intuitivo del concepto de fuerza por medio de actividades que permitan que el individuo confronte sus saberes previos con experiencias de clase, de manera que él mismo obtenga el suficiente criterio para modificarlos. Una estrategia que logre evitar que los estudiantes continúen asociando la fuerza con el movimiento y reconozcan a la fuerza como la causa del cambio en el movimiento.

Con el objetivo de responder a las demandas mencionadas anteriormente, el presente trabajo presenta una propuesta didáctica para la enseñanza de la segunda ley de Newton a partir del concepto de cantidad de movimiento. La unidad consta de cinco sesiones, que trabajan los temas de: 1) *Vectores y Posición, 2) Velocidad, 3) Fuerzas, Tipos de Fuerzas y Tercera Ley, 4) Cantidad de Movimiento y Segunda Ley, y 5) Solución de Problemas*. Las temáticas se presentan partiendo con una actividad introductoria que toma como referencia situaciones vivenciales donde los estudiantes son los protagonistas, y con base en éstas se desarrollan los contenidos. Las ideas previas de los estudiantes se trabajan con discusiones mayéuticas alrededor de situaciones problema que se ilustran, siempre que es posible, con montajes experimentales demostrativos en clase. La propuesta didáctica incluye el uso de simulaciones online, guías de trabajo teórico-práctico y un blog para que el estudiante tenga acceso ilimitado al material de trabajo.

La propuesta se pone a prueba con estudiantes de grado décimo de la Escuela Normal Superior de Neiva, cuyo desempeño se evalúa antes y después de la unidad utilizando el test *Force Concept Inventory*[1], Durante el desarrollo de las actividades y de la guías de

[1] Cuestionario publicado en The Physics Teacher en marzo de 1992, por *David Hestenes, Malcolm Wells, and Gregg Swackhamer*. En este trabajo se utiliza la versión en español traducida por: Enrique Macia-Barber & Ma Victoria Hernandez.

trabajo los estudiantes aumentaron su capacidad de argumentación y la mayoría cambian sus ideas previas de fuerza y movimiento. Además, se mostraron bastante motivados, lo que se reflejo en el incremento de la participación en clase y en la disposición para socializar y argumentar sus planteamientos. El análisis estadístico de los resultados revelo una mejora notable y estadísticamente significativa en los puntajes obtenidos por los estudiantes.

Este trabajo está organizado en seis capítulos. En el capítulo 2 se presenta una revisión histórica de planteamientos que dieron paso a la evolución de los conceptos de movimiento y fuerza. El capitulo 3 presenta la fundamentación conceptual de la segunda ley de Newton, la cual se deduce a partir de la cantidad de movimiento. En el capítulo 4 se mencionan algunas de las investigaciones acerca de la enseñanza del concepto de movimiento, se hace una revisión del planteamiento de los estándares del MEN, respecto al movimiento y finaliza con una descripción muy sucinta de la forma en que se aborda la segunda ley de Newton en algunos libros para la enseñanza de la física en Colombia. El capitulo 5 presenta la propuesta didáctica y describe en detalle cada una de las sesiones que la conforman. El capítulo 6 inicia con la descripción de la Escuela Normal Superior y la caracterización del grupo de trabajo, y culmina con la presentación de los resultados en forma cualitativa y cuantitativa. Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

2. Contexto histórico

El hombre se ha caracterizado por tener una curiosidad innata, por indagar constantemente acerca del principio que fundamenta la aparición de los fenómenos de la naturaleza. En materia del movimiento, es al sabio griego Aristóteles (Estagira, 384 – Calcis 322 a. C) a quien se le atribuyen los primeros intentos para explicar el movimiento de los cuerpos. Según Aristóteles, la Tierra era el centro del Universo y en torno a ella giraban los siete planetas de la antigüedad (Luna, Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) describiendo orbitas circulares. Cada planeta estaba suspendido de una de siete esferas concéntricas transparentes y la octava esfera cristalina contenía todas las estrellas. Todo ésto giraba alrededor de la tierra que permanecía fija y era el eje universal.

Figura 2-1 Estructura Aristotélica del Universo

Para Aristóteles toda la materia existente en la Tierra estaba constituida por la combinación de los cuatro elementos clásicos: tierra, agua, aire y fuego, que se distribuían en esferas concéntricas alrededor del centro de la tierra, justo en el orden anterior (ver Figura 1-2). La región que estaba más allá de la Luna habría existido siempre y por lo tanto debería ser inmutable e incorruptible, hacia parte del dominio celestial y estaba compuesta de un quinto elemento perfecto, al cual denominó el ***Éter.*** La caída de los cuerpos por sí mismos obedecía a su *movimiento natural,* es decir que buscaban su lugar de origen. Es así como una roca cae hacia la tierra por ser de

sustancia terrestre, el humo subía puesto que tendía a buscar el lugar de origen que es el fuego y éste se encontraba en la periferia de la esfera lunar.

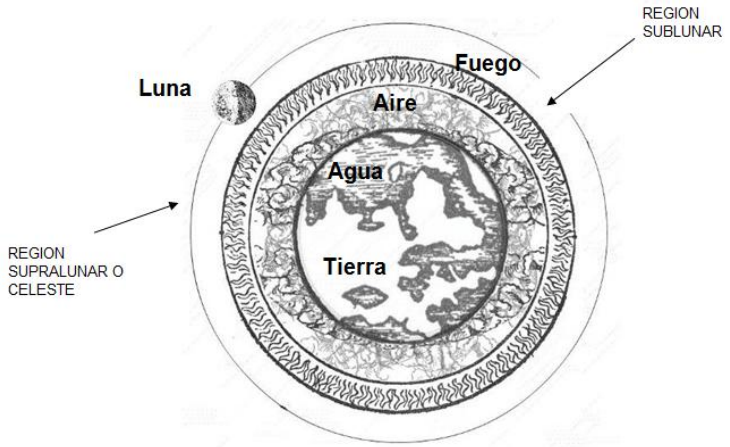


Figura 2-2: Las regiones del mundo según Aristóteles.

Aristóteles afirmaba que el peso (o gravedad) de un cuerpo y la resistencia del medio en que se mueve hacían que su velocidad de caída fuera proporcional a su peso. Afirmó que todos los cuerpos caerían a igual velocidad con independencia de su peso sólo en el vacío, pero tal conclusión le pareció imposible, pues en su concepción del mundo que el vacío no podría existir. Aristóteles clasifico los movimientos en naturales y violentos: la caída de una piedra, una hoja y una gota de lluvia obedecían al movimiento natural, mientras que un movimiento violento se aprecia cuando un caballo tira de una carreta, que se mueve debido a la fuerza impulsora. De hecho, en la concepción de Aristóteles, la carreta que deja de moverse si desaparece la fuerza impulsora. ¿Cómo se mueve entonces una flecha, después de abandonar el arco que la disparó? Para explicar el movimiento del proyectil, el sabio dice que la flecha al moverse deja un vacío tras de sí, que es llenado inmediatamente por el aire circundante. El aire, al entrar en esa región posterior, empuja la flecha. Aristóteles concluye que *el movimiento sostenido requiere de una fuerza sostenida aplicada*. Esta es una hipótesis errónea, pues en el vacío las cosas se siguen moviendo sin necesidad de empujarlas, pero hoy en día muchos de nosotros aun somos partidarios de tal resultado.

Fueron necesarios 18 siglos para madurar la idea de que el movimiento constante era el estado natural de las cosas, y que un cuerpo en movimiento se moverá eternamente, a menos que alguna fuerza lo retarde o lo frene, tal como corresponde al concepto de inercia propuesto por Galileo. Es curioso saber que la idea del “vacio” propuesta por Aristóteles sea uno de los pocos aportes ciertos a la teoría del movimiento, pero que lamentablemente él mismo decidió descartar.

En el siglo VI, Juan Filipón rebatió la idea de que los cuerpos caen a una velocidad proporcional a su peso, al comprobar experimentalmente que dos cuerpos con pesos diferentes tardan aproximadamente el mismo tiempo en caer en el aire desde la misma altura. Filipón, propone la primera idea de inercia al afirmar que un cuerpo en movimiento adquiere algún poder o fuerza motriz interna cuando se pone inicialmente en

movimiento. Sin embargo, la teoría aristotélica contaba con muchos seguidores, y Filipón no estaba interesado en contradecirla, así que decidió no dar mayor trascendencia a sus propuestas.

Tomás de Aquino (1225 – 1274) se dio a la tarea de conciliar las ideas aristotélicas con las doctrinas de la Iglesia Católica y establecer equilibrio entre la verdad de la fé y la espada de la razón. Fue así como se llegó a la reconciliación entre la ciencia de Aristóteles y la visión del mundo cristiano. Después de la síntesis de Aquino, el sistema aristotélico, que había sido prohibido en las escuelas, se convirtió en un dogma santificado. La dicha no duro mucho, pues muy pronto aparecen los críticos provenientes del Colegio Merton de Oxford y de la Universidad de Paris, como veremos más adelante.

Durante el siglo XIV, los eruditos pensaron que el movimiento era una cualidad variable de la materia. La lógica era el principal instrumento del conocimiento, y ésta a su vez estaba fundamentada en la experiencia. En las artes se recreaba la sensación del movimiento, para que de esta manera fuese comprendido. La física fundamenta su entendimiento en cuantificar y es así como describe sus observaciones en términos medibles, en donde se asocian los números con las cantidades. En la física medieval se define la *rapidez uniforme*: la cual corresponde a recorrer distancias iguales en intervalos de tiempo iguales, cualquiera que sea su duración. Los eruditos medievales no pudieron definir de forma adecuada la rapidez instantánea, debido a que en su momento carecían de la concepción del proceso de límite.

Alrededor de 1330, Jean Buridan, de la escuela de París, retomó y complemento los puntos de vista de Filipón sobre la fuerza motriz, o ***ímpetu***, como prefirió llamarla entonces. Buridán afirmaba: “Un cuerpo mantiene su movimiento debido a que, de algún modo, queda en él algo del «empuje» original como ímpetu”. Luego, Buridan concluyó que la cantidad de ímpetu impartido a un cuerpo era proporcional a su cantidad de materia (m) y a su rapidez (v). Al asociar la dependencia del movimiento con la rapidez y la cantidad de materia, Buridan había dado un gran paso, ya que en la actualidad se podría decir que la medida del ímpetu era el producto de la cantidad de materia por la rapidez (mv), y a ésta expresión se le conoce actualmente como momento lineal o también cantidad de movimiento. Buridan llegó un poco más lejos, al argumentar que algo sufría más aceleración debido a que el movimiento estaba influenciado por «el ímpetu junto con la gravedad».

El tema de la caída de los cuerpos ya había sido tratado por los escolásticos, quienes haciendo uso del sentido común y de la lógica, y sin hacer ninguna referencia a modelos experimentales, concluyeron que la caída de un objeto estaba dotada de un movimiento acelerado. Así mismo, sin recurrir al experimento, Alberto de Sajonia afirmó que la velocidad de caída es proporcional a la distancia, y Domingo Soto propuso la proporcionalidad con el tiempo.

Hacia 1350, Oresme, discípulo de Buridan, presentó un tratamiento geométrico que permitía encontrar un valor medio para la rapidez de un cuerpo que cae desde el reposo, un resultado se conoce como el teorema de la rapidez media. En la Figura 1-3 se presenta el esquema geométrico del teorema de la rapidez media planteado por Oresme.

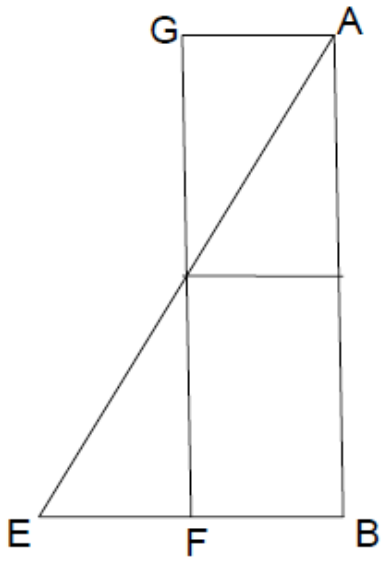


Figura 2-3: Versión geométrica del teorema de la rapidez media de Oresme (1350). Las líneas horizontales indican velocidad, y la línea vertical indica tiempo. A medida que el tiempo transcurre de A a B, la velocidad crece proporcionalmente desde cero hasta el valor EB. El valor GA es la velocidad media, de forma que el área del cuadrado GABF es la distancia recorrida.

Continuemos con el hombre que sentó las bases para el desarrollo del método empírico de la física y que por lo tanto es considerado como el precursor de la ciencia moderna: Galileo Galilei (1564 – 1642), quien, a través de sus observaciones y brillantes experimentos, ataco como nadie hasta entonces y de forma fulminante las doctrinas Aristotélicas acerca del movimiento. Así mismo, con ayuda de su telescopio, corroboró y complementó las ideas copernicanas del movimiento de la tierra alrededor del sol, lo cual le causo muchos problemas con sus colegas y con la Iglesia, al punto de que estuvo en riesgo de morir a manos la Inquisición, que redujo su pena al arresto domiciliario durante el resto de su vida.

La historia cuenta que Galileo se encontraba sentado pensando en la catedral durante la misa, cuando sintió curiosidad al notar la armonía en el balanceo de un candelabro. El joven Galileo tomó el pulso en su muñeca para determinar los momentos en que la lámpara subía y bajaba, y encontró que el tiempo que tardaba en ir de un extremo al otro era el mismo para cada recorrido, igual si describía un movimiento amplio o corto. Luego, Galileo fue a su casa y repitió el experimento del péndulo, esta vez variando la longitud de la cuerda y las masas de las bolas, llegando a la conclusión que el tiempo de oscilación del péndulo aumentaba con la longitud del hilo, pero que para su sorpresa era independiente de la masa de la plomada. A este resultado se le conoce como isocronismo pendular. Lo anterior implicaba que al dejar caer libremente dos bolas de diferente masa, éstas deberían caer con la misma velocidad. Tal observación no era nada nueva, pues ya lo había sugerido Buridan en el siglo VI y por Simón Stevin, quien llego a la misma conclusión en 1586, luego de realizar experimentos similares.

Para medir con precisión cómo caen los cuerpos, a Galileo se le presentaron dos inconvenientes: primero, los tiempos de caída de un cuerpo son muy cortos, y no se

pueden medir con facilidad; y segundo, no tenía forma de medir la rapidez encada instante. Para resolver el primer problema, Galileo hizo rodar las bolas sobre planos inclinados para así **«diluir»** el movimiento y, por tanto, reducir la aceleración al punto que los tiempos se hicieran más largos. Para resolver la segunda dificultad, Galileo replanteó el problema de manera que las cantidades a medir fueran la distancia y el tiempo, en lugar de la rapidez. En efecto, a partir del teorema de la rapidez y apoyado en argumentos geométricos, Galileo concluye que para un cuerpo que rueda sobre el plano inclinado la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo, que es algo que sí puede medir. La Figura 1-4 muestra la manera en que Galileo hace la deducción.

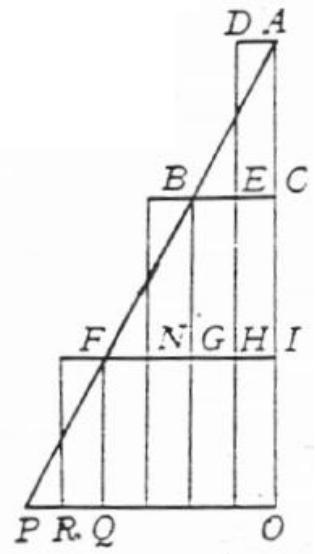


Figura 2-4: Deducción debida a Galileo (1609) de que para un cuerpo en caída libre la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo transcurrido. Tomemos el teorema de Oresme y veamos qué pasa con el movimiento en tres intervalos de tiempo iguales: AC, CI e IO. La velocidad media del primer intervalo es DA, y por lo tanto la distancia recorrida en ese intervalo es el área del rectángulo DACE. La velocidad media del segundo intervalo es BC, que es tres veces mayor que la velocidad DA, y por lo tanto la distancia recorrida en ese segundo intervalo es tres veces mayor. De forma similar, la velocidad media en el tercer intervalo es FI, cinco veces mayor que DA, y por lo tanto la distancia recorrida es cinco veces mayor. Las distancias recorridas en cada intervalo son, entonces, 1, 3 y 5 veces la del primer intervalo, y sus sumas dan las distancias totales recorridas en 1, 2 y 3 intervalos de tiempo: 1, para el primero; 1+3=4, para el segundo, y 1+3+5=9, para el tercero. En conclusión, la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo: $1=1^2$, $4=2^2$ y $9=3^2$.

Una vez hecha la deducción, Galileo procede a realizar el experimento. Para ello, rueda una bola a lo largo de un plano inclinado y marca las distancias recorridas para tiempos iguales. Algunos datos dan por encima y otros, por debajo de las predicciones, pero las diferencias entre lo medido y lo predicho son tan pequeñas, que llevan a Galileo a concluir que el Teorema de Oresme es correcto: la velocidad de un cuerpo en caída libre que parte del reposo crece proporcional al tiempo transcurrido. De hecho, las medidas son tan precisas que algunos investigadores han puesto en duda que en realidad Galileo haya realizado el experimento, pues la precisión que reporta es demasiado alta como para haber medido los tiempos con un reloj de agua (una clepsidra), tal como Galileo reporta. Sin embargo, hay algunos detalles que nos llevan a concluir que el experimento sí se hizo: primero, las anotaciones de Galileo (Figura 1-5) nos muestran que usaba una regla con 60 divisiones, pues las distancias se calculan como múltiplos de 60 más un

excedente, y, segundo, la precisión requerida en la medida del tiempo se puede lograr cantando una melodía muy rítmica (Ej: Greensleves) y moviendo un tope al final del recorrido hasta que el sonido del golpe de la esfera con el tope coincida con el ritmo de la canción. Corriendo este único tope, un oído entrenado musicalmente puede determinar las distancias con una precisión muy grande, y recordemos que Galileo era músico. Al comparar sus predicciones con datos experimentales, Galileo dió origen a la ciencia experimental, como la conocemos hoy.

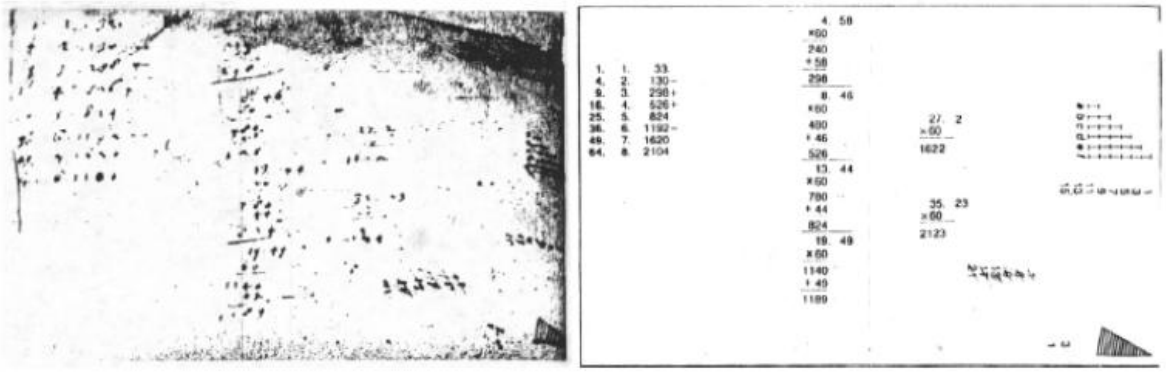


Figura 2-5: Anotaciones originales del experimento de Galileo (a la izquierda, la hoja original, y, a la derecha, una transcripción moderna). Los cálculos en la mitad de la hoja evidencian que Galileo usaba una regla con 60 divisiones. Las simas totales se consignan a la izquierda, y los signos + y – que Galileo coloca al lado de estas medidas indican que el dato experimental está por encima o por debajo de lo que él había predicho.

Los experimentos de caída libre hicieron que Galileo atribuyera a la resistencia del aire el hecho de que el movimiento de la caída desde una altura muy grande se transformara en un movimiento uniforme, pero afirmó que en ausencia de ésta todos los cuerpos que caen aumentan su rapidez en la forma más simple posible, es decir, con aceleración constante. La demostración fehaciente de que la caída gravitacional es independiente del peso se llevó a cabo alrededor de 1660, cuando Robert Boyle utilizó una bomba neumática para extraer el aire de un cilindro, para así poder realizar el experimento en un vacío real.

En cuanto al movimiento forzado propuesto por Aristóteles, la concepción de Galileo es completamente diferente. Para Galileo, si un cuerpo se mueve sobre una superficie horizontal sin rozamiento, mantendrá siempre la misma velocidad: no hay necesidad de empujarlo para que se siga moviendo. El razonamiento que hace Galileo es muy sencillo (ver figura 1-6). Si el plano está inclinado levemente hacia abajo, el cuerpo acelerará; si está levemente inclinado hacia arriba, el cuerpo frenará; luego, si está horizontal, el cuerpo no debe ni acelerar ni frenar, sino que debe mantenerse a velocidad constante.

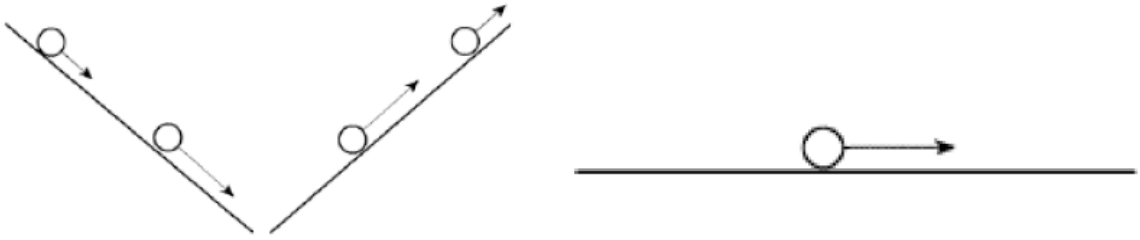


Figura 2-6: Razonamiento de Galileo para la inercia: Un cuerpo se desliza sobre una superficie sin nada de rozamiento. Si el plano está inclinado levemente hacia abajo, el cuerpo acelerará; si está levemente inclinado hacia arriba, el cuerpo frenará; luego, si está horizontal, el cuerpo no debe ni acelerar ni frenar, sino que debe mantenerse a velocidad constante.

Galileo llega a este razonamiento a partir de algunas experiencias con dos planos inclinados unidos: uno hacia abajo y otro hacia arriba. Al rodar una bola por el primero, la bola sube por el segundo hasta detenerse casi al mismo nivel de donde fuera liberada en el primer plano, sin importar cuáles fueran sus inclinaciones. Para explicar el hecho de que la bola no regresaba exactamente a la altura inicial del plano inclinado, Galileo concluye que la bola se frena debido al rozamiento, y que entre más pulida sea la superficie, más cerca llega a su altura inicial. Si el segundo plano se baja suavemente, la bola tendría que recorrer más trayecto antes de pararse a su altura original. De lo anterior concluyó que al hacer el segundo perfectamente pulido (sin fricción) y horizontal, la bola rodaría eternamente, sin acelerar ni frenar es decir, describiría un movimiento rectilíneo uniforme (la ley de la ***inercia***)***.*** Como La Tierra es esférica, no era posible concebir un plano perpetuamente horizontal, así que Galileo concluyó de manera errónea que el movimiento uniforme perpetuo sólo era aplicable a sistemas circulares. A pesar de estos resultados y de estas deducciones, la ley de la inercia no fue aceptada por algunos de los contemporáneos de Galileo, y sólo fue el matemático y filósofo René Descartes, que bajo una concepción metafísica de Dios y del universo plasmada en sus ***Principios de filosofía*** (1644), presentó la ley de la inercia afirmando que «todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta». El principio de la inercia modificó la milenaria concepción del sentido común (la de Aristóteles), que afirmaba que para que existiera movimiento era necesario un empuje continuo.

Los fenómenos bélicos no fueron ajenos a Galileo, pues fue el primero en notar que el movimiento de un proyectil en un medio carente de resistencia describe una trayectoria parabólica debido a la influencia de la gravedad. Galileo explica el movimiento de un proyectil a través de la composición de dos movimientos independientes: uno horizontal uniforme y el otro vertical con aceleración gravitacional. Luego de varios ensayos, Galileo comprueba que el máximo alcance horizontal se da para lanzamientos con un ángulo de 45°; además, para cada par de lanzamientos en donde sus ángulos sean complementarios, siempre se va a tener el mismo alcance horizontal.

Isaac Newton (1642 – 1727), sintetizó en 1687 su teoría de movimiento en su obra maestra: ***los principios matemáticos de la filosofía natural***, catalogada por muchos como la obra más revolucionaria de todos los tiempos. En los ***Principia***, Newton hace un rigoroso tratado del movimiento, basándose en los conceptos de inercia y aceleración propuestos por Galileo y enuncia la ley de gravitación universal que predice perfectamente los resultados de las observaciones celestiales deducidos por Kepler.

En su teoría del movimiento, Newton reconoció la importancia fundamental que representaría la masa. Para Descartes, la cantidad de movimiento estaba relacionada con el producto de la materia con la rapidez. Newton sintetizó tal noción al definir la cantidad de movimiento o momento lineal como el producto de masa y velocidad, concepto que ya había sido propuesto anteriormente por Buridan y Galileo, al cual respectivamente llamaron ímpetu y momento. Newton consignó su teoría del movimiento en sus tres leyes o axiomas del movimiento, y en un corolario. La primera ley del movimiento considera las afirmaciones de los atomistas griegos Demócrito y Leucipo, en las cuales se acepta la existencia del vacío y del movimiento rectilíneo de los cuerpos, y retoma las ideas de Descartes y Galileo relativas a la inercia. Para Newton: "*Todo cuerpo continua en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, sino es obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas a él*". Al mismo tiempo, esta ley identifica qué observadores pueden predecir el movimiento con las leyes de Newton: solamente aquéllos para los cuales esta primera ley es válida, a los que llamará *sistemas de referencia inerciales*.

La ley de la inercia acaba con la concepción Aristotélica que sostenía que las fuerzas eran necesarias para mantener el movimiento, es decir que son causas del movimiento, mientras que para Newton las fuerzas son causas del cambio de movimiento. Los experimentos de Galileo habían mostrado que la fuerza constante de la gravedad, actuando sobre un cuerpo, ocasionaba que éste se acelerara en forma uniforme. Así mismo, Lucrecio había sugerido la existencia de una proporcionalidad entre masa y peso. Posiblemente, las anteriores apreciaciones fueran el punto de partida para la formulación de la segunda ley del movimiento, que Newton enuncia como: "*A change in motion is proportional to the motive force impressed and takes place along the straight line in which that force is impressed" (El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza neta que se le aplica y ocurre a lo largo de la línea recta en la que se aplica esa fuerza"*. La tercera ley, *acción y reacción*, nos dice que siempre que dos cuerpos interactúan, las fuerzas que se hacen mutuamente tienen la misma magnitud (y misma dirección, pero sentido contrario). Los efectos sobre la velocidad de los dos cuerpos (aceleración, frenado o desvío) son diferentes, porque la masa es diferente, pero el cambio en la cantidad de movimiento es el mismo. Finalmente, el corolario nos indica que, para calcular la fuerza neta, las fuerzas aplicadas sobre un mismo cuerpo se suman usando la ley del paralelogramo (es decir, como vectores, a pesar de que el concepto de vector como tal no aparece sino a inicios de siglo XX). Las predicciones más maravillosas de Newton en astronomía y mecánica fueron desarrollados por Newton con la ayuda de una matemática de su autoría, conocida como cálculo de fluxiones (cálculo integral); sin embargo, el enfoque de los *Principia* es completamente geométrico y ha sido la base para predecir el movimiento de todos los fenómenos cotidianos desde entonces.

3. Concepto de fuerza

Al cuestionarse a una persona acerca del concepto de fuerza, ésta generalmente asocia a la fuerza con la capacidad que posee un objeto o individuo para producir movimiento. Hoy en día encontramos que un considerable número de personas aún manejan la concepción errónea de considerar a los seres vivos como los únicos agentes encargados para ejercer fuerzas.

El concepto de fuerza es muy intuitivo. Se le reconoce como la causa de que un cuerpo cambie su estado de movimiento al proporcionarle una aceleración. De manera que si un cuerpo se encontraba detenido pasará a moverse y si estaba moviéndose a cierta velocidad constante pasará a moverse más rápido, más lento o a detenerse. Respecto a una definición precisa del concepto de fuerza, Richard Phillips feynman afirma "*si insisten en una definición precisa de fuerza, ¡nunca la tendrán! Primero, porque la segunda ley de Newton no es exacta, y segundo, porque para comprender las leyes físicas deben comprender que todas son alguna forma de aproximación*", de acuerdo a lo anterior, trataremos de seguir tratando el concepto de fuerza a nivel intuitivo, desde luego, apoyado en los trabajos de Newton, pero haciendo la aclaración de que las expresiones matemáticas que intentan modelar algún fenómeno físico, no pueden funcionar a la perfección en el ámbito real, pues es muy difícil controlar(o conocer) todas las variables que intervienen en nuestro entorno natural.

Los cuerpos en ausencia de fuerzas son por completo indiferentes al reposo o al movimiento uniforme, tal afirmación podría generar confusión al pensar que un cuerpo que se encuentre detenido o que se mueva a velocidad constante, está en esa condición debido a que no actúa ninguna fuerza sobre él, pero lo cierto es que dos fuerzas pueden actuar sobre un cuerpo y no provocar alteraciones en su estado de movimiento debido a esas fuerzas se balancean entre sí. Es decir, la fuerza neta o resultante que actúa sobre el cuerpo es cero; en consecuencia, no está sometido a ninguna aceleración. Las acciones externas no son necesarias para mantener el movimiento uniforme sino sólo para alterarlo, en virtud de que la cantidad asociada a una fuerza es la aceleración y no la velocidad. De acuerdo con Newton, las fuerzas son causas del cambio de movimiento, mientras que para Aristóteles, las fuerzas son necesarias para mantener el movimiento, es decir, son causas del movimiento.

Para deducir la ley del movimiento a la manera de Newton, se hace necesario establecer el concepto de cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento (P) o momento lineal, es una cantidad vectorial asociada al producto de la masa (m) de un cuerpo con su velocidad, es decir:

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

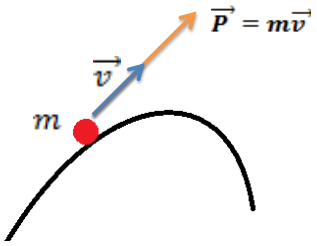


Figura 3-1: Vectores cantidad de movimiento y velocidad de una partícula.

La cantidad de movimiento de un cuerpo es un vector cuya dirección está determinada por su velocidad. Para una apreciación cualitativa de cuanta cantidad de movimiento posee un cuerpo, se le asocia con la capacidad de éste para hacer mover cosas al colisionarse con ellas. Un cuerpo en movimiento puede mover mayor cantidad de cosas a su paso, si se presenta alguno de los siguientes casos:

i. Cuando la masa del cuerpo es mayor respecto a la de sus obstáculos.
ii. Cuando se mueva muy rápido a pesar de que su masa sea similar a la de sus obstáculos.

El efecto de las condiciones anteriores se puede apreciar de una manera más fehaciente cuando se tiene la oportunidad de ser espectador en una carrera automovilística, si por alguna razón un auto se desvía de la pista y colisiona con la barrea de contención que generalmente está conformada por llantas, moverá mayor cantidad de éstas cuanto más rapidez tenga al momento del choque. Ahora, si es una competencia de vehículos de carga, para mover las llantas de la barrera de contención no se requiere que posea gran velocidad pues su masa es mayor en comparación de un automóvil.

Para un sistema aislado de *n* partículas, es decir un lugar libre de cualquier interacción externa, se tiene que la cantidad de movimiento total será la suma vectorial de las cantidades de movimiento de cada cuerpo y deberá mantenerse constante. Lo anterior significa que el sistema está dotado de un movimiento inercial y por tanto, mantendrá constante, en magnitud y dirección su cantidad de movimiento, en efecto:

$$\vec{P} = \vec{P}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = constante$$

Donde m_i y v_i son respectivamente la masa y la velocidad de la *i*-ésima partícula.

La segunda ley del movimiento es presentada por Newton a partir de la definición de fuerza, “El ritmo de cambio de la cantidad de movimiento (es decir, el momento lineal) de

un cuerpo es igual a la fuerza neta aplicada y tiene lugar en la misma dirección", simbólicamente se tiene:

$$\overrightarrow{F} = \frac{\Delta \overrightarrow{P}}{\Delta \overrightarrow{t}}$$

Se sabe que $\overrightarrow{P} = m\overrightarrow{v}$, $\frac{\Delta \overrightarrow{v}}{\Delta \overrightarrow{t}} = \overrightarrow{a}$ y considerando la masa constante, se sustituye éstas cantidades en la expresión anterior y resulta:

$$\overrightarrow{F} = \frac{\Delta(m\overrightarrow{v})}{\Delta \overrightarrow{t}} = m\frac{\Delta \overrightarrow{v}}{\Delta \overrightarrow{t}}$$

Finalmente:

$$\overrightarrow{F} = m\overrightarrow{a}$$

Esta es la reconocida ley del movimiento de Newton, aunque curiosamente no aparece así formulada en los Principios, esta formulación simplificada de la segunda ley resulto varias décadas después en la obra del matemático Suizo Leonhard Euler.

4. Cómo se enseña el concepto de Fuerza y la segunda ley de Newton

4.1 Estudios acerca del aprendizaje del concepto de fuerza.

Existe gran diversidad de literatura relacionada con la enseñanza y aprendizaje del concepto de fuerza y de la segunda ley de Newton. En virtud de que la propuesta didáctica se desarrollará en la Institución Educativa Normal Superior de Neiva, que fomenta la formación de maestros a partir del nivel de educación media, tomamos como referentes tanto las investigaciones que se han desarrollado en torno a la formación de maestros como las desarrolladas a nivel de educación media. Cinco investigaciones muy significativas para nuestro trabajo son las siguientes:

Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. Antti Savinainen and Philip Scott. Es una investigación que se desarrolla con estudiantes de 16 años de una escuela de educación secundaria superior de Finlandia. El enfoque utilizado para la enseñanza es el de Instrucción Conceptual interactiva (ICI). El ICI se basa en la premisa de que para el desarrollo de una comprensión de la mecánica se requiere de un proceso interactivo en el cual haya oportunidad para que las ideas sean dialogadas y estudiadas detenidamente entre el profesor y los estudiantes. La instrucción conceptual interactiva considera los siguientes cuatro componentes:

- Enfoque conceptual
- Interacciones en el aula
- Ejercicios a base de investigación
- El uso de textos

El estudio concluye que la interacción en clase con materiales y elementos demostrativos que hacen palpables los conceptos y mejora su comprensión. El proceso se evaluó aplicando el test *Force Concept Inventory* (FCI) antes y después de la instrucción. El análisis de las respuestas al FCI se organizó en 6 categorías: Cinemática, Primera Ley, Segunda Ley, Tercera Ley, Principio de Superposición, Tipos de Fuerza (sólidos, fluidos, gravitación). Con base en los resultados obtenidos en cada una de las anteriores categorías, los autores encontraron que el método de enseñanza fue muy favorable en cinco de estas seis categorías. Sin embargo, el método fue bastante ineficaz en relación a la segunda ley de Newton, dado que los ítems del FCI que aluden al tema arrojan

puntajes inferiores en la postprueba. Los autores arguyen que ésto pudo ser ocasionado porque los estudiantes no habían recibido formación matemática previa en vectores, y precisamente estos ítems hacen referencia al movimiento en dos dimensiones.

MOVILIDAD CONCEPTUAL EN TORNO A LA IDEA DE FUERZA EN PROFESORES DE FÍSICA EN FORMACIÓN INICIAL. Vargas Nancy, Solano Jhon y Reyes Jaime. Trabajo de investigación basado en la aplicación del test *Force Concept Inventory*, desarrollado por HESTENES D., WELLS M., y SWACKHAMER (1992), a los estudiantes de séptimo semestre de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El cuestionario fue aplicado al inicio y al final del curso de Didáctica de la Física I.

Se presenta el concepto de fuerza en relación con las ideas de movimiento y el tipo de analogías que se realizan en torno a su interpretación. Al igual que en el estudio anterior, el FCI se organizó en 6 categorías: Cinemática, Primera Ley, Segunda Ley, Tercera Ley, Principio de Superposición, Tipos de Fuerza (sólidos, fluidos, gravitación). Con relación a los ítems del FCI que involucran el concepto de fuerza, se concluye que los estudiantes que presentan dudas relacionadas con este concepto mezclan sus conocimientos comunes con los académicos y obtienen menos puntaje en el post-test que en el pre-test. Se evidencia, además, que los estudiantes realizan una analogía de continente–contenido referido a fuerza–interacción, y fuerza–trayectoria, de manera que no conciben que un cuerpo se pueda seguir moviendo si no hay una fuerza presente que lo empuje. Al identificar que los estudiantes recurren constantemente al uso de analogías, los autores sugieren que en el futuro sería interesante construir una didáctica alrededor de ellas.

ALGUNAS DIFICULTADES EN TORNO A LAS LEYES DE NEWTON: UNA EXPERIENCIA CON MAESTROS. M.B.García, G. Dell'Oro. Los autores desarrollan unas actividades tendientes a construir los conceptos más importantes asociados con las leyes de Newton, actividades que han sido diseñadas de acuerdo con las teorías cognitivas de Ausubel y Vigotsky. Dentro del marco de la teoría de la "interacción social", ya sea desde la discusión entre pares como desde el intercambio con el profesor, pero tomando como hilo conductor la historia de la ciencia. Una de las conclusiones que arroja la investigación es que, aunque la metodología utilizada comprometió a los alumnos con la problematización profunda y explícita de sus ideas previas y permitió el intercambio de opiniones en un marco de socialización del conocimiento, la mayoría de los sujetos no aprenden significativamente los conceptos de Mecánica. En efecto, a pesar de la instrucción y las actividades desarrolladas, los alumnos (profesores) conservan la idea de que es necesario que exista una fuerza neta actuando para que un cuerpo esté en movimiento. Los autores llegan a pensar que cuanto más se avanza en el grado de instrucción, el conocimiento parece ser más incoherente y las ideas alternativas (pensamiento aristotélico) se tornan más difíciles de modificar.

Dificultades en la Interpretación del concepto de Fuerza en estudiantes de grado décimo. Una propuesta didáctica para abordar la problemática. Castro Garcia Yorlady. Esta es una propuesta didáctica desarrollada en el Colegio INEM Francisco de Paula Santander en la localidad de Kennedy en Bogotá. La propuesta plantea actividades lúdicas de interacción entre los estudiantes para ilustrar el concepto de fuerza, con la idea de que los estudiantes reestructuren sus ideas previas, que asocian a la fuerza con

el movimiento y no con el cambio del movimiento. En su trabajo, García diseña y aplica una serie de guías que buscan construir los conceptos de vectores, cantidad de movimiento, y fuerza con guías de clase, actividades lúdicas y prácticas de laboratorio cualitativas, respectivamente. La aplicación de la propuesta didáctica arroja una mejora estadísticamente significativa, pero muy pequeña. De hecho, muchos de los estudiantes permanecen en sus concepciones previas que asocian fuerza a movimiento. La autora recomienda la aplicación de la propuesta a estudiantes de grados inferiores a 10°, pues de ésta manera se combatirían más eficazmente las concepciones erróneas de los estudiantes.

¿Es importante el orden en que se aborda la mecánica? Rosales José Moisés. Esta es una propuesta didáctica desarrollada en la Escuela Normal Superior de Ubaté (Cundinamarca). Uno de los objetivos más difíciles de lograr en la enseñanza de la física ha sido el de modificar los conceptos previos de los estudiantes acerca de la fuerza y de la velocidad. Este trabajo propone una estrategia didáctica novedosa para la enseñanza de la cinemática que añade elementos de dinámica para ayudar a reestructurar esos conceptos previos. Las unidades conceptuales se desarrollan siguiendo un orden completamente diferente al tradicional: vectores, interacción, inercia, sistemas de referencia, desplazamiento, velocidad y aceleración, y se fundamentan en el diálogo mayéutico con los estudiantes, a partir de sus conceptos previos. Para poner a prueba la estrategia, se realizó un diseño pre-experimental con prueba inicial y final con estudiantes de décimo grado de la Escuela Normal Superior de Ubaté. El análisis estadístico de los resultados muestra que el desempeño promedio de los estudiantes mejora en una medida estadísticamente significativa; de hecho, la totalidad de los puntajes obtenidos por los estudiantes en el post-test supera la mediana de sus puntajes en el pre-test. A pesar de que el objetivo inicial del trabajo es estudiar el efecto de modificar el orden de los temas, el resultado más importante es que la discusión mayéutica de las ideas de los estudiantes acerca del concepto de fuerza es capaz de reestructurar los conceptos previos, lo que constituye un resultado excelente que abre caminos interesantes de trabajo futuro.

4.2 Las indicaciones de los estándares del MEN

En la serie guías # 7 aparecen los estándares básicos de competencias en ciencias naturales y sociales. Bajo el título *Formar en ciencias: ¡el desafío!*, la ex ministra de educación nacional, Cecilia María Vélez White, dice textualmente: "*Los estándares en ciencias buscan que los estudiantes desarrollen las habilidades científicas y las actitudes requeridas para explorar fenómenos y para resolver problemas. La búsqueda está centrada en devolverles el derecho de preguntar para aprender. Desde su nacimiento hasta que entran a la escuela, los niños y las niñas realizan su aprendizaje preguntando a sus padres, familiares, vecinos y amigos y es, precisamente en estos primeros años, en los cuales aprenden el mayor cúmulo de conocimientos y desarrollan las competencias fundamentales".* Teniendo en cuenta el fragmento anterior, la formación en ciencias debería proporcionar las condiciones para que nuestros estudiantes conozcan y vivan las ciencias naturales de tal manera que sus contenidos se logren comprender y comunicar por medio de experiencias y hallazgos que redunden en la construcción y mejoramiento de su entorno, tal como lo hacen los científicos.

En los estándares de competencia, se incluye la enseñanza de la Física dentro de las ciencias naturales. Desde el grado primero hasta el grado noveno, los contenidos de la física hacen parte del *entorno físico*. Ya en los grados décimo y undécimo los contenidos referentes a la física se clasifican como *procesos físicos*. En los estándares, los contenidos para Física se clasifican en cuatro componentes: eventos de mecánica de partículas, eventos termodinámicos, eventos ondulatorios y eventos electromagnéticos. Nuestra propuesta didáctica hace referencia a los eventos de mecánica de partículas, específicamente a los siguientes estándares: "*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*" y "*Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos*". Estos son, pues, los objetivos de aprendizaje propuestos por los estándares, pero no se hace indicación alguna para su desarrollo.

4.3 Cómo se enseña el concepto de Fuerza y la segunda ley de Newton en los textos de Educación media en Colombia.

En la siguiente tabla se especifican las temáticas referentes al concepto de fuerza y la segunda ley de Newton en ocho textos que son (o han sido) utilizados por la mayoría de los profesores que orientan física en el grado décimo del sector oficial. Me atrevería a decir que los cuatro primeros hacen parte de la literatura "contemporánea", mientras que los cuatro últimos serían los "clásicos". Vale la pena señalar que los siete primeros son de editoriales colombianas y el último es de una editorial argentina.

TITULO	AUTOR(ES)	EDITORIAL	AÑO
Hipertexto Física 10	**Mauricio Bautista Ballén**	**Santillana**	**2010**
Introduce el tema de la dinámica haciendo referencia a las fuerzas y al cambio de movimiento por medio del juego de hockey sobre hielo. Posteriormente, se enuncian las características, unidades y tipos de fuerzas, explica sutilmente las fuerzas de la naturaleza y enuncia la ley de Hooke. A continuación menciona y da ejemplos de la primera ley de Newton y describe algunas fuerzas comunes: peso, fuerza normal, fuerza de rozamiento y tensión. Luego enuncia la segunda ley de Newton apoyándose en un diagrama con vectores. A continuación introduce el concepto de masa con un ejemplo donde analiza la aceleración que experimentan dos animales con diferente masas parados sobre una patineta al ser empujados con la misma fuerza. Luego desarrolla ejemplos con planos inclinados con y sin rozamiento. A renglón seguido enuncia y da ejemplos de la tercera ley de Newton, trata la cantidad de movimiento, impulso, conservación de la cantidad de movimiento, da ejemplos de colisiones y finalmente presenta dos lecturas relacionadas con la física en el contexto de la tecnología.			
Física 10	**EDUARDO ZALAMEA GODOY**	**Educar**	**1997**

	JAIRO ARBEY RODRIGUEZ MARTÍNEZ ROBERTO PARIS ESPINOSA		
Inicia el capitulo con una breve reseña histórica de Newton. Luego, describe las fuerzas cotidianas. A continuación enuncia, comenta y da ejemplos de las leyes de Newton, y realiza ejercicios de aplicación. Luego trata sobre los sistemas inerciales y propone tres prácticas de laboratorio: leyes de Newton, medida de fuerzas y rozamiento cinético. Por último, resuelve y plantea ejercicios de aplicación.			
Física fundamental 1	**Michel Valero**	**Norma S.A.**	**1995**
Muy someramente explica el concepto intuitivo de fuerza, y cómo se mide, y luego describe las fuerzas de la naturaleza y las fuerzas de contacto: elástica, tensión, normal y de rozamiento, y expone la ley de Hooke. Luego enuncia la primera y tercera leyes de Newton, para entrar explicar y dar ejemplos acerca de las condiciones de equilibrio de una partícula; y termina el capitulo con aplicaciones tales como: fuerzas de cohesión y adherencia, dinamómetros, el rozamiento en la vida, el freno y embrague. Dedica un capítulo a la segunda ley de Newton, enunciándola en forma muy sutil. Relaciona peso y masa, estudia las unidades de fuerza, y plantea y explica con ejemplos las ecuaciones de movimiento. A continuación estudia el movimiento circular, para lo cual define la fuerza centrípeta, enuncia las leyes de Kepler, enuncia y comenta la ley de gravitación universal y termina con aplicaciones tales como: el regulador de Watt, el peralte en las carreteras, máquinas centrifugadoras, la Tierra y la mareas, planetas y satélites. Propone ejercicios y finaliza con una lectura acerca de la historia de las leyes de Newton.			
Investiguemos 10 Física	**Mauricio Villegas**	**Voluntad**	**1989**
Presenta una idea intuitiva y somera de fuerza apoyada en ilustraciones deportivas. Da crédito al carácter vectorial de la fuerza y lo complementa con ejemplos. Enuncia la primera ley de Newton, Enuncia y deduce la segunda ley de Newton a través de ejemplos y graficas. Un ejemplo en especial describe una experiencia de laboratorio en la que una banda de caucho hala un cuerpo y le presenta los datos al estudiante, para que los analice y concluya a partir de ellos. A continuación deduce las unidades de fuerza y desarrolla algunos ejemplos sobre la segunda ley. Posteriormente, enuncia la tercera ley. Luego presenta las fuerzas mecánicas especiales: el peso, fuerza normal y la fuerza de tensión, y la fuerza de rozamiento. Finalmente enuncia y explica la ley de Hooke, deduce y da ejemplos de fuerza centrípeta, desarrolla ejercicios, propone problemas de aplicación y realiza un test evaluativo.			
Física Vol. I	**Heriberto Castañeda**	**Susaeta Ediciones & Cia. LTDA**	**1982**
Introduce el capítulo con un breve comentario acerca de los precursores de la dinámica. Enuncia la primera y la segunda ley, explicándolas con ejemplos cotidianos. Explica las unidades de fuerza, diferencia entre masa y peso y propone el uso del ascensor para evidenciar la segunda ley de Newton. A continuación enuncia y explica la tercera ley, la cantidad de movimiento o momentum y define el impulso, pero con el objetivo de exponer el principio de conservación de la cantidad de movimiento. Luego, comenta y explica las fuerzas centrípeta y centrifuga y la aceleración centrípeta. Posteriormente, da un tratado			

vectorial a las fuerzas y resuelve ejercicios sobre descomposición de fuerzas y opera con éstas para estudiar las condiciones de equilibrio para cuerpos apoyados y suspendidos. En otros capítulos trata los temas de trabajo, potencia y energía, y hace un estudio detallado sobre el rozamiento. En general el texto es bastante breve en sus explicaciones y no sigue el orden convencional de la mayoría de los textos de física.

Introducción a la FISICA Mecánica y Calor	**MARCELO ALONSO R. VIRGILIO ACOSTA M.**	**Publicaciones Cultural Ltda.**	**1979**

Comienza el capítulo enunciando las dos primeras leyes, acompañadas de un breve comentario al respecto. Luego da las unidades de fuerza y define y da ejemplos del peso. A continuación define momento e impulso y **define la fuerza como el cambio de momentum en la unidad de tiempo,** dándole más importancia a ésta definición – más cercana a los Principia de Newton – que la convencional: **F = ma.** Después, enuncia e ilustra la tercera ley. Posteriormente, deduce el principio de conservación del momentum y da ejemplos del mismo, y enuncia y da ejemplos de fuerza centrípeta y fuerzas centrales. A continuación da un tratamiento vectorial a las fuerzas, resuelve ejercicios sobre descomposición de fuerzas y opera con éstas. Al igual que el texto anterior, sigue con un estudio de las condiciones de equilibrio para cuerpos apoyados y suspendidos, y trata de manera detallada el rozamiento. El texto se asemeja mucho al anterior en el orden y en el tratamiento de los temas..

Física Primera Parte	**Jorge E. Quiroga CH**	**Bedout S. A**	**1975**

El autor introduce el capítulo haciendo un comentario sobre el objeto de la dinámica, y plantea experimentos sencillos para entrar a definir la ley de la inercia. Luego, propone dos experiencias sencillas con el fin de introducir la segunda ley, explica las unidades de fuerza, y a través de un experimento diferencia entre masa y peso. Luego, se apoya en un experimento sencillo para enunciar la tercera ley, relaciona impulso y cantidad de movimiento, y deduce la conservación de la cantidad de movimiento. A continuación comenta y deduce la fuerza centrípeta y sus aplicaciones. Luego establece un paralelo entre la física clásica y moderna, dedica un capítulo al trabajo con las fuerzas apoyado en la estática y enuncia los conceptos de trabajo y potencia, previos al rozamiento, para después continuar con energía cinética y potencial. El texto presenta una gran ventaja frente a los demás, pues gran parte de sus conceptos y definiciones son intuitivas o están acompañadas de una simple experiencia demostrativa.

Introduccion a la Física	**Alberto P. Maiztegui Jorge A. Sabato**	**Kapelusz**	**1973**

A manera de introducción al concepto de movimiento, el autor presenta una excelente lectura que trata sobre el diálogo entre dos personas en un tren, uno de ellos físico. Comenta actividades cotidianas para luego enunciar la ley de la inercia, y presenta experiencias sencillas que permiten comprobar tal ley. Como algo muy particular, primero se refiere al principio de masa (que es la segunda ley despejando la masa), y trata el cálculo de fuerzas pero partiendo del mencionado principio, del cual deduce la segunda ley de Newton, hace un tratamiento de las unidades de fuerza, y resuelve y plantea ejercicios. Posteriormente, enuncia la tercera ley partiendo de experiencias sencillas, y define y explica el impulso y la cantidad de movimiento y su conservación. A continuación, retoma la segunda ley a la manera de Newton, es decir centrándose en el

cambio de momentum, y discute las fuerzas centrípeta y centrífuga. Al igual que en los textos anteriores, dedica un capítulo al trabajo con las fuerzas apoyado en la estática y otro a los conceptos de trabajo, potencia y energía, previos a la fuerza de rozamiento. El autor presenta algunas temáticas en un orden distinto al establecido en la mayoría de textos de física. La primera ventaja del texto radica en que involucra o deduce los conceptos a partir de experiencias; la segunda, es que en ocasiones liga sus contenidos a su evolución histórica.

5. Propuesta didáctica

La propuesta está orientada a complementar los conceptos relativos a la segunda ley de Newton en estudiantes de grado décimo de la Escuela Normal Superior de Neiva. En efecto, los estudiantes han visto previamente algunas nociones de la segunda ley y han realizado experimentos, pero la poca intensidad de horas semanales con las que se cuenta para orientar la asignatura de física (3 horas) resulta insuficiente para abordar todos los contenidos curriculares con la profundidad deseada. El mecanismo principal de trabajo está basado en la fundamentación conceptual a través de actividades que permitan la adquisición y confrontación de ideas, en donde se procura que el estudiante tenga la oportunidad de crear y recrear situaciones cotidianas que estén relacionadas con la ley del movimiento y que permitan que el docente pueda discutir con el alumno sus ideas y concertar conclusiones con todo el grupo.

La propuesta se diseñó para cinco sesiones, que junto con las pruebas diagnósticas pre y post completaron siete sesiones. Para abordar la temática de la segunda ley de Newton se hace necesario que los estudiantes recuerden el manejo de la notación y de las operaciones con vectores. En la primera sesión se hizo esta fundamentación, acompañada de actividades que involucraron el manejo de vectores. En la segunda sesión se reforzaron los conceptos de posición, velocidad y aceleración a través del desarrollo de una competencia atlética. Dicha actividad terminó con la socialización de sus resultados y con comentarios acerca de los conceptos cinemáticos involucrados. Durante las sesiones tercera y cuarta se trataron los conceptos específicos relacionados con la segunda ley de Newton. Primero se trabajó el concepto de fuerza y algunos ejemplos, apoyados por supuesto en actividades de clase que manipulan objetos materiales que representan por connotación la situación a estudiar. Luego, se abordó la cantidad de movimiento y su relación con el concepto de fuerza con actividades de motivación inicial. La quinta sesión se aprovecha para discutir y resolver ejercicios en donde se aplican los conceptos abordados durante el desarrollo de la propuesta. Para complementar el proceso, y como una forma de aprovechamiento del tiempo libre y de las TICS, se elaboró un blog en donde se expusieron las actividades a desarrollar. Con el propósito de visualizar y simular las temáticas de estudio, se utilizaron animaciones que apoyaron la comprensión de los contenidos tratados en las clases.

Como pre-prueba y post-prueba se aplicó el *Force Concept Inventory* (FCI), desarrollado por HESTENES D., WELLS M., y SWACKHAMER (1992). El cuestionario en mención pretende indagar acerca del nivel de comprensión que manejan los estudiantes del concepto de fuerza y de sus aplicaciones.

A continuación se hace una descripción de las sesiones que se llevaron a cabo en el desarrollo de la propuesta didáctica.

5.1 Sesión No. 1: Escalares, vectores, desplazamiento y trayectoria.

Tiempo estimado: 150 minutos

Objetivos

- El estudiante identificará a través de ejemplos y ejercicios las diferencias entre cantidades escalares y vectoriales.
- El estudiante representará desplazamientos utilizando vectores en una y dos dimensiones, para encontrar la posición de un cuerpo; estableciendo la diferencia entre desplazamiento y longitud de la trayectoria.

Conceptos previos: Ubicación de puntos en el plano cartesiano, operaciones con números reales.

Materiales: Guía (anexo A), regla, flexómetro, computador con conexión a internet, video bean, tablero y marcadores.

Descripción: la guía consta de tres momentos. El primero, de ambientación, incluye ocho preguntas y/o actividades, tales como: ¿cuál es su edad?, camine cinco pasos, ¿cuál es el estrato de su vivienda? Con el desarrollo de tales actividades se motiva al estudiante para que se disponga al desarrollo de la temática. El segundo momento es el desarrollo magistral e interactivo del tema, donde el profesor da a conocer los contenidos de la guía, involucrando la participación activa de los estudiantes por medio de ejemplos vivenciales en donde los estudiantes son los protagonistas en el desarrollo de los mismos. En esta parte se le pide al estudiante que se desplace hacia arriba-abajo, a la derecha-izquierda, usando la cuadricula del piso como sistema de coordenadas para describir su posición, desplazamiento y longitud de la trayectoria. A medida que se avanza en la temática, se discuten los cuestionamientos de la actividad introductoria, de la que se concluye que las cantidades escalares están determinadas por números, mientras que las cantidades vectoriales están representadas por flechas dotadas de magnitud y dirección. Además, gran parte de los estudiantes concluye que cuando realizan su rutina de ir de la casa-colegio-casa, su desplazamiento es nulo, mientras que la longitud de su trayectoria es dos veces la distancia casa-colegio. También se trae a colación el tema de ubicación en la ciudad, en donde encontrar cierta dirección de domicilio nos involucra en un caso típico de manejo de sistemas de coordenadas. En el

tercer momento, el docente hace la explicación del manejo de ***vec→touring***, que es una aplicación on-line de la NASA, cuyo enlace es: http://spaceplace.nasa.gov/vec-touring/sp/#. Su ejecución se lleva a cabo en la clase de informática, donde los estudiantes ingresan al sitio Web y exploran el applet, bajo el acompañamiento y asesoría del docente.

Metodología: Dentro de los principios fundamentales de la propuesta está el de establecer una conexión directa entre la teoría y la práctica, inmersos en una relación horizontal maestro-alumno. La clase se desarrollara de manera interactiva, utilizando y discutiendo ejemplos cotidianos, de tal manera que el estudiante tenga la oportunidad de construir sus propios conceptos a través de la interacción con su entorno. Luego, entre todos concretan ideas y se establecen conclusiones que formalicen la temática a tratada. Lo anterior pretende que el estudiante sienta placer al descubrir la relación fehaciente entre ciencia y cotidianidad, el cual redunda en la formación de futuros científicos. Las dudas y tareas se socializaran en la próxima sesión.

Actividad complementaria: Aprovechando el diseño del piso del salón de clase, se conforman grupos de tres estudiantes para que escojan un sistema de coordenadas y se ubiquen en él. Luego, determinan su posición con respecto al origen para que finalmente encuentren el vector resultante debido a la suma de cada uno de sus vectores de posición. Además, se les recuerda que para la próxima sesión deben leer la guía de trabajo y traer el uniforme de deporte.

5.2 Sesión No. 2: Actividad práctica para el reconocimiento y comprensión del concepto de velocidad.

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: Vivenciar el concepto de velocidad a través de una actividad deportiva.

Conceptos previos: Magnitudes escalares y vectoriales, unidades de longitud y tiempo, Sistema Internacional de Unidades (S I), operaciones con números reales, proporciones.

Materiales: Guía (anexo B), cinta métrica, cronómetro, computador, video bean, tablero y marcadores.

Descripción: Se da apertura a la sesión con una retroalimentación de la clase anterior, en donde se repasan los conceptos de cantidades escalares y vectoriales. Para ello un estudiante sale frente a sus compañeros y realiza ejemplos con vectores, desplazándose en distintas direcciones de tal manera que entre todos recuerden los conceptos de vector, posición, desplazamiento y longitud de la trayectoria. A continuación se les presenta la guía de la actividad práctica, en donde se explica el procedimiento a seguir (la cual aparece en el anexo B) y se aclaran las preguntas relativas al desarrollo de la guía. Una vez desarrollada la guía, entramos al salón de clase para hacer la discusión de cada una de las fases (ver anexo B). Respecto a la fase 1, que consistía en registrar el tiempo que empleaba cada participante en recorrer 30 metros, se concluye que el más rápido en quien recorre los 30 metros en el menor tiempo. Para la fase 2, en la que se

registraba la distancia recorrida por cada participante en un tiempo de 5 segundos, se concluye que el más rápido es quien logra recorrer la mayor distancia en los 5 segundos. En la fase 3, en la que uno de los competidores recorre cierta distancia (x) y su compañero el doble (2x), se registran los tiempos empleados y se concluye que el más rápido es quien obtenga el mayor cociente entre su distancia recorrida y el tiempo empleado. La fase 4 consiste en que un competidor dispone de un tiempo(t) y su compañero el doble(2t) para correr. Se registran las distancias recorridas y se concluye que es más rápido quien obtenga el mayor cociente entre su distancia recorrida y el tiempo empleado. Con los resultados anteriores, los estudiantes daban sus apreciaciones acerca del por qué existían las diferencias en la rapidez de sus compañeros. Algunos decían: es que él tiene las piernas más largas, tiene más estado físico, pero hubo algunos que dijeron que el más veloz fue la persona que se aceleró en su movimiento pues fue quien logró que su velocidad cambiara más deprisa. Por último, se acordó que los resultados encontrados para la velocidad y aceleración de los competidores obedecían a valores promedio, ya que no se contaba con los instrumentos pertinentes para calcular valores instantáneos.

Metodología: Se hace una explicación detallada de la actividad práctica que previamente ha sido subida al blog para el conocimiento y estudio de los estudiantes, y se aclaran las dudas relativas al desarrollo de la práctica. El procedimiento detallado de la actividad se encuentra en el anexo B. Se recuerdan las medidas de precaución para evitar accidentes. Para que asegurarnos de que los datos sean lo más próximos a la realidad, se recomienda hacer unos ensayos preliminares con el fin de que los estudiantes se familiaricen con el manejo y sensibilidad de los instrumentos de medida. Los estudiantes registraran los datos y en conjunto responderán las preguntas de la guía, y eligen a un relator para que socialice las apreciaciones una vez entren al aula de clase. En el salón de clase se hace la fundamentación teórica de los conceptos de velocidad, rapidez y aceleración. Con el ánimo de enriquecer y dinamizar los contenidos, se toma como ejemplo los resultados obtenidos en la práctica. De esta manera los estudiantes se involucran de manera directa con la temática y les da seguridad al estudiante en el momento de argumentar sus apreciaciones.

Actividad complementaria: cada estudiante explorara los sitios web que proporcionen applets relacionados con la velocidad y aceleración, que serán divulgados en la siguiente sesión. Así mismo, debe hacer una lectura cuidadosa de la guía de la próxima sesión.

Figura 5-1: Desarrollo de las actividades sobre velocidad.

5.3 Sesión No. 3: Las fuerzas, su naturaleza y tercera ley de Newton.

Tiempo estimado: 150 minutos

Objetivos:

- Que el estudiante identifique cuándo se hace una fuerza y cuándo no, tanto para fuerzas de contacto como para fuerzas a distancia.
- Que el estudiante represente, a través de vectores, las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- Que el estudiante prediga cómo las fuerzas modifican el estado de movimiento de los cuerpos.

Conceptos previos: Magnitudes escalares y vectoriales, masa velocidad, aceleración.

Materiales: Guía (anexo C), computador con conexión a internet, video beam, patineta, imán, arena de rio, tablero y marcadores.

Descripción: Se realiza un conversatorio muy breve acerca de la sesión anterior apoyado en animaciones online, en donde los estudiantes visualizan el recorrido de un móvil y hacen comentarios como los siguientes: *"en esa parte (señalan) el carrito se movió más rápido debido a que el conductor oprimió mas fuerte el acelerador*", "*Mire! Fíjese que venía rápido y a partir de allí (señalan) comenzó a disminuir su velocidad, o sea que es obvio que desaceleró*". Respecto al cambio en la velocidad (lo que evidencia una aceleración), los estudiantes dicen: "*es que iba en carretera plana*", "*estaba adelantando a otro carro*", "*tenia afán"*, con lo que justifican el aumento en la velocidad. Así mismo, afirman: *"es que comenzó una loma"*, "*se le atravesó algo*", "*estaba bien de tiempo*", con lo que justifican la disminución de la velocidad (desaceleración). Luego, se les pregunta: "*¿qué pasa cuando no hay aceleración?*" Algunos responden apresuradamente que el móvil está quieto, pero otros argumentan que no es cierto, que

también pueden estarse moviendo a paso constante. De lo anterior se concluye que la ausencia de aceleración, no implica carencia de movimiento, resultado clave para la concepción de la primera ley de Newton. Luego, se desarrolla la actividad introductoria de la guía (ver anexo C), que consiste en organizarse en grupos de tres y proporcionar empujones a un estudiante cuando éste camina en línea recta a paso constante. Con el desarrollo de la actividad, los estudiantes visualizaron la fuerza como la responsable del cambio en estado de movimiento, y también percibieron la ley de acción y reacción, pues cuando empujaban al compañero, éste también los empujaba a ellos con la misma intensidad pero en sentido contrario. Se concluye que las fuerzas son aquellos empujones y jalones que se hacen sobre los objetos y que hacen que los objetos cambien su estado de movimiento, ya sea para acelerarlos, desviarlos o frenarlos. Después, se hizo la fundamentación teórica de las cuatro interacciones fundamentales, donde los estudiantes hacen sus aportes y se construyen las ideas a través de la discusión grupal. Durante el desarrollo de la clase se presentan y discuten animaciones de la Web, como por ejemplo los que se encuentran en: http://www.walter-fendt.de/ph14s/index.html y http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones.html, y se evidencian las situaciones problemas planteadas en la guía (ver anexo C) por medio actividades donde los estudiantes son los actores del proceso. Por ejemplo, se sube un estudiante a una patineta, para empujarlo o jalarlo, identificando y explicando las fuerzas que se ejercen sobre él. Se coloca un bloque sobre el escritorio y se pregunta: *¿Está sometido a alguna(s) fuerza(s)?* Algunos responden que no. A éstos se les pide que lo sostengan en la mano y se les pregunta: *¿Qué sienten*?, y responden que el bloque los jala hacia el piso. De esta manera se evidencia que el bloque está sometido a la acción de dos fuerzas: el peso y la normal. Otro ejemplo muy interesante consistió en levantar un cubo de metal usando los dedos de la mano. Los estudiantes opinaron que se podía levantar porque la mano hace fuerza y presiona al bloque haciendo más eficiente el rozamiento, y que así las yemas de los dedos nos permiten agarrar y sostener las cosas. Cuando se untó aceite al metal, ya fue muy difícil levantarlo, debido a que se logró disminuir el rozamiento. De esta forma, a los estudiantes que no den explicación acertada a las preguntas, se les pide que manipulen y realicen la actividad para que por su cuenta entiendan, comprendan y corrijan sus dudas. Con esta estrategia se trabajan las actividades que se proponen en la guía, idea que fue bien acogida por los estudiantes, pues a ellos les motiva mucho trabajar con objetos reales y tangibles para luego sí pasar a las representaciones abstractas.

Metodología: Como se describió anteriormente, la sesión inicia con la retroalimentación de la sesión anterior. Por medio de la presentación de unas animaciones online, se representan, discuten y complementan las temáticas relativas a la velocidad y aceleración. En grupos de tres estudiantes desarrollan la actividad introductoria cuyo propósito es el de generar la inquietud acerca de la fuerza y su naturaleza. Como a los estudiantes se les había sugerido hacer previamente la lectura de la guía, entonces el maestro modera el conversatorio, en donde se estudian las cuatro interacciones fundamentales, se aclaran las dudas al respecto y se complementa la discusión haciendo uso de los applets de la web. La guía propone unas situaciones problema para ser reproducidas en clase que buscan evidenciar de manera directa cómo las fuerzas cambian el movimiento y que le permiten al estudiante verificar o cambiar sus explicaciones acerca de los fenómenos relativos a la fuerza. A medida que se ejecutan las situaciones problema, los estudiantes establecen conclusiones conjuntamente con el

docente, que evidencian de manera concreta los avances en torno a la divulgación y apropiación de la temática.

Actividad complementaria: Cada estudiante debe traer para la próxima clase un caso en el cual se ponga de manifiesto algunas de las fuerzas tratadas y lo debe socializar ante sus compañeros. Adicionalmente, debe hacer la lectura de la actividad propuesta para la siguiente sesión.

Figura 5-2: Desarrollo de las actividades de la sesión 3.

5.4 Sesión No. 4: Cantidad de Movimiento y segunda ley de Newton

Tiempo estimado: 150 minutos

Objetivos.

- Introducir el concepto de cantidad de movimiento a partir de actividades cotidianas.
- Observar y predecir los efectos de una fuerza al estado de movimiento de un cuerpo.

Conceptos previos: Las fuerzas y su clasificación, métodos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales.

Materiales: Guía (anexo D), computador con conexión a internet, video beam, pelota de caucho, balón de microfútbol, ladrillos ecológicos, tablero y marcadores.

Descripción: Se da apertura de la sesión con la socialización por parte de algunos estudiantes de la actividad complementaria correspondiente a la sesión anterior. En esta parte, se identifican y clasifican las fuerzas a las que están sometidos los cuerpos en dos casos particulares: una persona jalando una caja en un piso rugoso y la extracción de un cubo de agua de un pozo. Las situaciones anteriores son reproducidas en el aula a través de la elaboración de sus montajes experimentales, con lo que se fomenta la que los estudiantes participen activamente y que elaboren ideas como consecuencia de la visualización del experimento. Por ejemplo: en ambos casos se usan cuerdas, éstas ejercen tensión sobre los cuerpos, pero los cuerpos a su vez jalan a las cuerdas; o este otr ejemplo: el rozamiento hace que se dificulte el movimiento produciendo detrioro y calentamiento de las superficies en contacto, y por eso en los dispositivos sometidos al

rozamiento se debe utilizar refrigeración o lubricación. Luego, se realiza la actividad introductoria, que corresponde a la introducción de los conceptos de cantidad de movimiento y segunda ley de Newton. Para el primer concepto se utilizan ladrillos ecológicos (botellas plásticas llenas de papel y arena) que son derribados por balones. La cantidad de movimiento del balón se introduce intuitivamente como la capacidad de poner en movimiento los ladrillos ecológicos (la explicación más detallada de la actividad, se puede apreciar en el anexo D). Una vez desarrollada la guía, entramos al salón de clase para hacer la discusión de cada una de las fases (ver anexo D). En la fase 1 se patean un balón de plástico y uno de microfútbol con la misma intensidad y se explora cuál llega más lejos. Los estudiantes llegaron a la conclusión que el balón de plástico llegaba más lejos, pues al trasmitir la misma fuerza a los dos balones, adquiría mayor aceleración el de menor masa, pero advirtieron que cuando se le proporcionaba una fuerza considerablemente grande, el balón de plástico tendía a desviarse y a ser frenado más fácilmente por el aire, tal fenómeno hacia que recorriera menor distancia. La fase 2 de la guía consiste en patear un balón para tumbar un ladrillo ecológico. Se concluye que para derribar los ladrillos ecológicos se requiere que el balón de plástico sea lanzado con mayor velocidad, mientras que el balón de microfútbol requiere menor velocidad. La fase 3 es igual que la anterior, pero ahora los ladrillos se encuentran verticales, horizontales o amontonados. Los estudiantes encuentran que es más sencillo tumbar los ladrillos cuando se disponen de forma horizontal (uno al lado del otro), porque de esta forma la conexión entre ellos es más débil, haciendo que la "oposición al impacto" sea leve. Con base en las actividades anteriores se formaliza el concepto de la cantidad de movimiento, pues se evidencia claramente que para tumbar los ladrillos, el balón de mayor masa requiere menos velocidad, mientras que el de menor masa requiere ser lanzado a una velocidad mayor. De esta manera los estudiantes concluyen que un cuerpo en movimiento puede mover más cosas cuanto mayor sea su masa y/o su velocidad. Entonces se les presenta que la cantidad de movimiento es el resultado del producto de la masa con la velocidad. Esta definición se refuerza con el ejemplo de la colisión entre dos patinadores, donde uno de ellos está en reposo antes de la colisión: ambos quedan moviéndose después de la colisión.

A continuación se presenta el concepto de impulso tomando como ejemplos el juego de billar, la balística y el boxeo. En éstas situaciones se puede apreciar el efecto de una fuerza en función del tiempo. Ya con todo lo anterior, se presenta la segunda ley de Newton a la manera de los Principia, es decir considerando la fuerza como la variación de la cantidad de movimiento como proporcional a la fuerza total aplicada y al tiempo que se aplica esta fuerza. Si la masa es constante, se hacen procedimientos algebraicos para llegar a obtener la expresión popularmente conocida de la segunda ley de Newton: **F** = *m*a.* El resultado anterior se ilustra por medio de situaciones cotidianas: se observan los efectos cuando se empujan bloques de diferentes masas, se empuja a un compañero de menor masa y luego a otro con mayor masa, percatándose de hacer la misma fuerza, de las que se concluye que cuando mayor sea la fuerza que se le aplique a un objeto, el cambio en el movimiento será mayor, y que se requiere de una mayor fuerza para desviar un cuerpo con gran masa. Se discuten y se realizan algunos ejemplos del tipo de los que aparecen en las pruebas Saber 11°. A medida que se desarrolla la clase, el docente socializa algunas simulaciones correspondientes al proyecto Newton, del Ministerio de Educación del Gobierno de España, a las que se ingresa a través del enlacehttp://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_4eso_fuerzas/4quincena3/4q3_index.htm

Metodología: Se da inicio a la sesión como de costumbre, haciendo comentarios de la anterior sesión. La motivación inicial se basa en el desarrollo de un actividad práctica (ver anexo D), en donde los estudiantes por medio del uso de balones y ladrillos ecológicos evidencian de manera directa los principios fundamentales de la cantidad de movimiento y segunda ley de Newton, que son las temáticas a tratar en la presente sesión. El desarrollo de la clase se lleva a cabo usando ejemplos y elementos del la cotidianidad (balones, ladrillos ecológicos, patinetas, patines, etc.), en donde se involucra al estudiante en el manejo de los montajes experimentales, por ejemplo: jalando bloques, patinando, empujando a un compañero, etc. Se les pide a los estudiantes que expliquen y predigan el comportamiento de los fenómenos que se recrean en el aula. Tales apreciaciones se someten a discusión permanente, y como resultado de tal diálogo se concretan ideas, que son los elementos principales para la formalización de la parte conceptual. Se resuelven algunos ejercicios propuestos en versiones anteriores de las pruebas saber 11°, cuya resolución en lo posible va acompañada del uso de materiales (Bloques, planos, poleas) que permitan recrear la situación problema y de cuestionamientos a los estudiantes con el ánimo de que ellos predigan, propongan y discutan las alternativas de solución. Los ejemplos y ejercicios se complementan con el uso de las simulaciones que aparecen en el proyecto Newton, que se mencionó en la descripción.

Actividad complementaria Para la proxima sesion, se recomienda que los estudiantes hagan un repaso acerca de los métodos para la solucion de sistemas de ecuaciones lineales. Ademas, deben hacer una exploracion mas detallada al Proyecto Newton.

Figura 5-3: Desarrollo de las actividades de la sesión 4.

Figura 5-4: Desarrollo de las actividades de la sesión 4, con la participación del profesor Alfredo Osorio Serrato.

5.5 Sesión No. 5: Solución de problemas

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivos: Plantear, resolver y verificar la solución a situaciones problema relativas a la segunda ley de Newton y sus aplicaciones.

Conceptos previos: Planteamiento y resolución sistemas de ecuaciones lineales, diagramas de cuerpo libre, segunda ley de Newton.

Materiales: Textos de física grado décimo, selección de ejercicios pruebas Saber 11°, computador con conexión a internet, video beam, tablero y marcadores.

Descripción: Se da apertura a la sesión con una presentación de power-point, donde se socializa y discuten los casos más típicos en la construcción de diagramas de cuerpo libre, tales como: plano inclinado, cuerpos suspendidos y ligados, cuerpos en contacto, máquina de Atwood, entre otros. Luego, se discuten y resuelven los ejercicios, comenzando por los más sencillos: un solo bloque, una sola dirección del movimiento, sin fricción, planos inclinados, etc., hasta llegar a los que involucran diversas fuerzas incluyendo el rozamiento y la combinación de movimientos horizontal y vertical. En la mayoría de los casos, y aprovechando que el aula de clase es el laboratorio, se buscan los materiales (bloques, rampas, poleas, cuerdas, etc.) para elaborar un montaje

experimental que permite que los estudiantes identifiquen las relaciones entre los datos y las incógnitas, para luego pasar a las predicciones respecto a las posibles soluciones de la situación problema. Tales afirmaciones se validan o refutan una vez se dé solución al ejercicio. En esta parte los estudiantes hacen sus comentarios, tales como: *"haaa, se va para el otro lado porque ese bloque le gana en masa"*, *"la cuerda se tensiona y eso hace que los objetos adquieran la misma aceleración"*. ¿Por qué la aceleración negativa? A esta cuestión algunos opinan que la velocidad va disminuyendo, mientras otros aseveran que el signo menos indica que el sentido del movimiento es erróneo. Por último, se resuelven ejercicios que han aparecido en las prueba Saber 11°, donde se les deja un tiempo para que cuchicheen con sus vecinos y luego propongan alternativas de solución. Luego, el maestro con ayuda de sus estudiantes construyen un esquema que ejemplifique la situación. Un estudiante voluntario o el docente dirige la solución al ejercicio, y todos aportan en el proceso para que finalmente se discuta y aclaren las dudas respecto a la consistencia de la respuesta.

Metodología: La metodología propuesta consiste, pues, en construir para cada problema el montaje experimental correspondiente. Esto le permite al estudiante poner a prueba su intuición. La discusión con los vecinos ayuda a confrontar las ideas y desarrolla la capacidad de refutar o validar las opiniones de los estudiantes. Posteriormente, un estudiante o el maestro dirige la solución del ejercicio, de tal manera que todos aporten en el proceso, concluyendo con el análisis de la respuesta. Los ejercicios a tratar buscan predecir aceleración a partir de las fuerzas o, alternativamente, las fuerzas a partir de la aceleración. La mayoría de las situaciones anteriores indagan por la aceleración o la tensión en un sistema dado. Un gran porcentaje de los profesores de física a nivel de secundaria, cuando entramos al tema de dinámica, nos desvinculamos de la cinemática. La idea aquí es que se propongan ejercicios que indaguen por alguna variable típica de la cinemática, como por ejemplo: distancia recorrida, tiempo, velocidad, entre otras, que resulte de la aceleración hallada como resultado del ejercicio. Finalmente, se traen a colación algunos ejercicios de las pruebas Saber 11 para que los estudiantes se familiaricen con el manejo de esta prueba de Estado. Con esta sesión finalizan las actividades correspondientes a la propuesta didáctica, solo queda pendiente la aplicación del FCI.

Actividad complementaria: Se enfatiza a los estudiantes que para la presentación del FCI, lean bien el enunciado y analicen detalladamente – pero a la vez muy rápido – cada una de las opciones de respuesta. Y como no todo en la vida es trabajo, a manera de clausura de la actividad pedagógica, el docente anfitrión ofrece la degustación de una torta acompañada de gaseosa, acto que sin tener conocimiento alguno, coincide con la previa celebración del onomástico de una integrante del grupo 10-03.

Figura 5-5: Solución de problemas con apoyo de simulaciones Online.

6. Resultados

6.1 Marco de aplicación.

6.1.1 Descripción de la Institución Educativa.

La Escuela Normal Superior de Neiva es una Institución Educativa de carácter oficial del municipio de Neiva, Departamento del Huila, Colombia. Ofrece los niveles de formación en Preescolar, Básica Primaria y Secundaria, Media Vocacional con profundización en educación y pedagogía, y, Ciclo de Formación Complementario de Docentes. Ubicada en la Calle 8º No. 36-20, barrio Las Brisas, comuna No. 7, la institución pertenece al Núcleo educativo No.5. y atiende en las jornadas de Mañana y Tarde. La información de contacto de la Escuela es: Tel: 877 86 93 – 877 68 68 – 877 8747, email: normalneiva@hotmail.com, y página web: www.normalsuperiorneiva.edu.co.

La Escuela normal de Neiva tiene como misión formar maestros en y para la vida, con idoneidad ética, pedagógica y científica, en la perspectiva de construir currículo pertinente a los contextos rural, urbano marginal y población con limitación auditiva. Ofrece los servicios de formación inicial de docentes, formación y capacitación de docentes en ejercicio para las zonas rural y urbano marginal y la atención al personal con discapacidad auditiva[2].

6.1.2 Descripción del grupo de trabajo.

La propuesta didáctica fue aplicada a los estudiantes del grupo 10-03 de la Institución Educativa Escuela Normal Superior, sede principal, de la jornada de la mañana. La propuesta se llevó a cabo con un grupo de 34 estudiantes, cuyas edades están comprendidas entre los 14 y los 17 años, pertenecientes a los estratos 1 y 2. Cerca del 70% de los estudiantes cuenta con un computador y conexión a internet, y la gran

[2] La caracterización de la Institución Educativa, fue consultada en el PEI.

mayoría de sus progenitores cuentan con una formación académica mínima a nivel de bachillerato.

6.2 Resultados cualitativos.

Desde el momento en que los estudiantes se enteraron de su selección para el desarrollo de la propuesta didáctica, se motivaron mucho, a pesar de que las sesiones fueron programadas en la jornada de la tarde. La ventaja de la aplicación de la propuesta didáctica en la jornada contraria radicó en que se dispuso de más tiempo para trabajar actividades lúdico-prácticas, que demostraron ser una gran herramienta en la fundamentación, discusión y cambio de las ideas previas de los estudiantes. Con ellas, los estudiantes encuentran sentido y aplicación a los temas tratados magistralmente, que tradicionalmente se tornan tediosos y con un bajo índice de disposición y motivación hacia su aprendizaje. Las sesiones de clase se desarrollaron en su totalidad, contando con gran disposición por parte de los estudiantes, al punto de que el profesor ***Alfredo Osorio Serrato*** (quien es el profesor titular de física) manifestó estar satisfecho con el grado de participación y disposición de los estudiantes y estar motivado para aplicar la estrategia propuesta en los años venideros.

El mecanismo de trabajo basado en la participación activa y dinámica fue muy favorable, pues a medida que transcurrían las clases se evidenciaba el aumento de la cantidad de ideas y explicaciones por parte de los estudiantes. Al mismo tiempo los estudiantes mejoraron la calidad de su argumentación, pues pasaron de responder "*porque sí*" a tomarse un tiempo y analizar más en detalle cada fenómeno, para llegar a dar una respuesta más elaborada. Los estudiantes se mostraron muy interesados por los temáticas a desarrollar, debido a que durante la clases se les vinculaba de manera directa con los ejemplos, hasta el punto de que hacían parte de éstos. Observamos que el hecho de manipular objetos, tomar medidas y hacer experiencias sencillas potencia habilidades y destrezas que permiten al estudiante predecir, explicar y argumentar sus afirmaciones de manera clara y coherente. Los estudiantes se interesaron por las animaciones de los fenómenos físicos, interactuaron con éstas y buscaron más animaciones, aparte de las sugeridas por el docente. Además, el blog les fue de gran ayuda, dado que posibilitó su acceso al material de trabajo a cualquier hora.

La actividad con los balones y los ladrillos ecológicos permitió asimilar con facilidad el concepto de cantidad de movimiento, al punto de que los estudiantes asociaron correctamente su relación con la masa y la velocidad. En contraste, en la actividad de halar y empujar un monopatín los estudiantes tuvieron dificultades para identificar las fuerzas ejercidas por objetos inanimados, pues les cuesta trabajo atribuirles la facultad para ejercer fuerzas. Sin embargo, los estudiantes sí reconocen el papel que desempeña la fuerza de rozamiento para cambiar en el estado de movimiento de los cuerpos. A pesar de que durante las sesiones se introdujeron los conceptos por medio de ejemplos y

actividades vivenciales, las ideas previas continúan distorsionando la manera en que los estudiantes explican y perciben los fenómenos de la naturaleza, en particular los de fuerza y su efecto sobre el movimiento.

En resumen, la propuesta didáctica mejora grandemente la motivación, la participación y la calidad de la argumentación de los estudiantes. La construcción de algunos conceptos, como cantidad de movimiento, resultan fáciles de construir; mientras que otros, como las fuerzas ejercidas por objetos inanimados, requieren de más trabajo para modificar las ideas previas de las estudiantes.

6.3 Resultados Cuantitativos

Para medir el desempeño de los estudiantes ante la aplicación de la propuesta didáctica, se utilizó como test el ***Force Concept Inventory*** (**FCI**), desarrollado por HESTENES D., WELLS M., y SWACKHAMER (1992), que se encuentra en el anexo F. El cuestionario en mención es un test utilizado ampliamente en el contexto internacional para indagar el nivel de comprensión que manejan los estudiantes del concepto de fuerza y de sus aplicaciones. El **FCI**, se aplico en dos momentos: inicialmente como instrumento de diagnóstico para explorar los preconceptos de los estudiantes, y al finalizar la propuesta didáctica, como instrumento para medir el avance logrado. En efecto, las actividades a desarrollar durante las cinco sesiones se diseñaron con base en los resultados de la evaluación diagnóstica. El diseño escogido para evaluar la propuesta es pre-experimental con pretest y postest. Para ello se trabajó con el grupo 10-03, de 34 estudiantes, de la Escuela Normal Superior de Neiva (Neiva, Huila).

En primer lugar procedemos a determinar si los puntajes obtenidos distribuyen de manera normal, tanto para el pretest como el postest. Para ello se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, y no la de Kolmogoroff-Smirnoff, porque el número de datos es menor a 50. Se obtiene que ninguna de las dos pruebas se distribuyen de manera normal, por lo que utilizaremos pruebas no-paramétricas.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smimov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TOTAL PRE	,201	34	,001	,924	34	,022
TOTAL POST	,197	34	,002	,946	34	,092

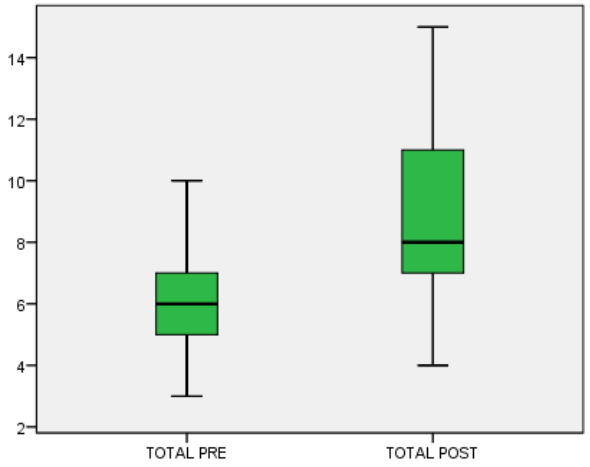
a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 6-1. Test de normalidad para el pretest y el postest.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
TOTAL PRE	34	3	10	6,12	1,935
TOTAL POST	34	4	15	9,03	2,908
N válido (según lista)	34				

Tabla 6-2. Estadísticos descriptivos para las dos pruebas.



Estadísticos de contraste[b]

	TOTAL POST - TOTAL PRE
Z	-4,015[a]
Sig. asintót. (bilateral)	,000

a. Basado en los rangos negativos.

b. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

Figura 6-1 Comparación de los resultados del pretest y el postest. A la izquierda, diagramas de cajas. A la derecha, resultados de la aplicación del test de Wilcoxon.

A continuación construimos estadísticos descriptivos para los dos test. El diagrama de cajas (Figura 5.1) y la tabla correspondiente (Tabla 5.2) nos muestran que los puntajes son bajos, pero hay una mejora considerable en todos los estadísticos: puntajes mínimo y máximo, mediana y cuartiles del 25% y del 75%, al punto de que, por ejemplo, el 75% de los estudiantes en el postest (nivel del primer cuartil o 25 percentil) obtiene un resultado superior al del tercer cuartil del pretest. Para saber si esta diferencia es significativa, aplicamos la prueba Wilcoxon, que arroja un nivel de z=-4.015. La mejora es, por lo tanto, estadísticamente significativa. En conclusión, los estudiantes aprenden mucho con la metodología propuesta.

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	Cinematicapre	2,2647	34	1,08177	,18552

	Cinematicapost	2,1471	34	1,10460	,18944
Par 2	IdentificaFuerzasPre	,6471	34	,77391	,13272
	IdentificaFuerzasPost	1,2059	34	1,09488	,18777
Par 3	PrimeraLeyPre	1,4706	34	,74814	,12831
	PrimeraLeyPost	2,5000	34	1,33144	,22834
Par 4	SegundaLeyPre	1,3235	34	,94454	,16199
	SegundaLeyPost	1,8824	34	1,17460	,20144
Par 5	TerceraLeyPre	,4118	34	,60891	,10443
	TerceraLeyPost	1,2941	34	1,00089	,17165

Tabla 6-3. Medias y variancias para las subescalas.

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Cinematicapre - Cinematicapost	,11765	1,20012	,20582	-,30109	,53639	,572	33	,571
Par 2	IdentificaFuerzasPre - IdentificaFuerzasPost	-,55882	1,07847	,18496	-,93512	-,18253	-3,021	33	,005
Par 3	PrimeraLeyPre - PrimeraLeyPost	-1,02941	1,52723	,26192	-1,56229	-,49653	-3,930	33	,000
Par 4	SegundaLeyPre - SegundaLeyPost	-,55882	1,25990	,21607	-,99842	-,11922	-2,586	33	,014
Par 5	TerceraLeyPre - TerceraLeyPost	-,88235	1,03762	,17795	-1,24439	-,52031	-4,958	33	,000

Tabla 6-4. Diferencias entre pre y post para las cinco subescalas.

Seguidamente procedemos a analizar el desempeño de los estudiantes en cinco subescalas de la prueba. Las subescalas, construidas por nosotros, agrupan las preguntas que evalúan los conceptos de *Cinemática* (preguntas 1,2,3,12,14,19 y 20), la *Identificación de Fuerzas* (preguntas 5,11,13,18,29 y 30), la *Primera Ley de Newton* (preguntas 6,7,10,17,23,24 y 25), la *Segunda Ley de Newton* (preguntas 8,9,21,22,26 y 27) y la *Tercera Ley de Newton* (preguntas 4,15,16 y 28). Las medias y desviaciones estándar de estas subescalas para el pretest y el postest se encuentran consignadas en la Tabla 5-3. Se observa que hay una mejora en el valor medio de todas las subescalas, con excepción de la de *Cinemática*. Para saber si esa mejora es significativa, debemos analizar primero su normalidad. Aplicando Shapiro-Wilk, se obtuvo que todas las subescalas dieron normales, tanto en pre como en post. Por lo tanto, aplicamos t de Student para pruebas relacionadas. Comparando pre y post, todas las subescalas mejoran significativamente, a excepción de la cinemática (Tabla 5-4). Al estudiar la correlación entre las subescalas, se concluye que, curiosamente, sólo la subescala *tercera ley* correlaciona con la subescala *primera ley* (Tabla 5-5).

Correlaciones

		Cinematica post	IdentificaFuerzas Post	PrimeraLey Post	SegundaLey Post	TerceraLey Post
Cinematicapost	Correlación de Pearson	1	-,326	,072	-,033	,069
	Sig. (bilateral)		,060	,685	,853	,697

	N	34	34	34	34	34
IdentificaFuerzasPost	Correlación de Pearson	-,326	1	,052	,019	,054
	Sig. (bilateral)	,060		,770	,913	,763
	N	34	34	34	34	34
PrimeraLeyPost	Correlación de Pearson	,072	,052	1	,136	,659**
	Sig. (bilateral)	,685	,770		,444	,000
	N	34	34	34	34	34
SegundaLeyPost	Correlación de Pearson	-,033	,019	,136	1	-,047
	Sig. (bilateral)	,853	,913	,444		,792
	N	34	34	34	34	34
TerceraLeyPost	Correlación de Pearson	,069	,054	,659**	-,047	1
	Sig. (bilateral)	,697	,763	,000	,792	
	N	34	34	34	34	34

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 6-5. Correlaciones entre las cinco subescalas en el postest.

En conclusión, el análisis estadístico muestra una mejora significativa, tanto en test total como en cuatro de las cinco subescalas. Sin embargo, los puntajes siguen siendo bajos.

7. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se construyó e implementó una propuesta didáctica diseñada para la enseñanza de la segunda ley de Newton a través de actividades relacionadas con el concepto de cantidad de movimiento. La unidad didáctica propuesta consta de cinco sesiones, que trabajan los temas de: 1) *Vectores y Posición, 2) Velocidad, 3) Fuerzas, Tipos de Fuerzas y Tercera Ley, 4) Cantidad de Movimiento y Segunda Ley,* junto con una quinta sesión de *Solución de Problemas*. La temática se desarrolla por medio de juegos en grupo y practicas demostrativas que permiten la participación activa de los estudiantes. Las clases magistrales se apoyan en la solución de problemas con masas, cuerdas y poleas que se montan como experimentos demostrativos que no sólo visualizan la situación a resolver, sino que sirven para motivar, explorar y poner a prueba las ideas de los estudiantes. Los conceptos son trabajados por medio de preguntas y contraejemplos (*mayéutica*) que cuestionan y ayudan a construir las ideas de los estudiantes y a afinar su intuición. Estas actividades se complementan con simulaciones online y con ejercicios para resolver en grupo que son luego socializados y discutidos en comunidad. Las guías correspondientes a las cuatro primeras sesiones se encuentran en los anexos A al D.

La propuesta se llevó a cabo los días miércoles en la tarde durante seis sesiones, con la participación de 34 estudiantes de grado décimo (grupo 10-03) de la Escuela Normal Superior de Neiva. Los estudiantes tienen una edad promedio de 15 años y pertenecen a los estratos sociales 1 y 2, cerca del 70% cuenta con computador y conexión a internet y la gran mayoría de sus progenitores cuentan con una formación académica mínima a nivel de bachillerato. El desarrollo de actividades de participación activa fue muy favorable, pues fomentó el interés de los estudiantes, aumentó la cantidad de sus ideas y explicaciones y mejoró la calidad de su argumentación. Los estudiantes se mostraron muy interesados por las temáticas a desarrollar, debido a que durante las clases se les vinculaba de manera directa con los ejemplos, hasta el punto de que hacían parte de éstos. Observamos que el hecho de manipular objetos, tomar medidas y hacer experiencias sencillas potencia habilidades y destrezas que permiten al estudiante predecir, explicar y argumentar sus afirmaciones de manera clara y coherente.

La propuesta se evaluó cuantitativamente por medio de un diseño pre-experimental con pretest y postest, aplicando el test *Force Concept Inventory* antes y después de su implementación. El análisis de los resultados de las pruebas evidencia una mejora estadísticamente significativa en los puntajes obtenidos por los estudiantes. De hecho, el puntaje del primer cuartil del postest se eleva hasta alcanzar el nivel del tercer cuartil del pretest, y la prueba de Wilcoxon arroja un valor de z=-4.015. Al dividir la prueba en cinco subescalas: *Cinemática, Identificación de Fuerzas, Primera Ley de Newton, Segunda Ley* y *Tercera Ley,* se observa una mejora significativa en todas las subescalas, con la

excepción de la primera, lo que es coherente con el objetivo de la propuesta didáctica, que está enfocada en la enseñanza de la segunda ley de Newton.

Sin embargo, no todo es perfecto. Aunque algunos estudiantes mejoraron en la explicación y argumentación de las situaciones expuestas con respecto a movimiento y fuerza, una mayoría se apresura a dar apreciaciones erróneas, evidenciando la persistencia de las ideas previas o preconcepciones[3]. Similarmente, aunque la mejora de los puntajes en el postest es abrumadora, los puntajes totales siguen siendo bajos, menores al 50% de las 30 preguntas del test. Adicionalmente, el postest solo arroja correlación entre las subescalas de primera y tercera ley de Newton (un resultado inesperado), lo que sumado a una baja autoconsistencia de la prueba nos indica que posiblemente ésta no sea adecuada para ser aplicada a esta población. Esta puede ser también un factor importante que genera bajos puntajes en el test. Valdría la pena, por lo tanto, realizar un estudio de validación de la prueba FCI para estudiantes colombianos de grado décimo, algo que por sí solo constituye tema de una tesis de maestría en psicología.

Como suele suceder con la enseñanza de la física en grado décimo, la propuesta didáctica arrojará mejores resultados en la Escuela Normal Superior de Neiva, si previo a ella se realiza un trabajo de refuerzo en conceptos tales como el manejo de vectores y de sus operaciones básicas, nociones básicas de trigonometría y el planteamiento y solución de sistemas de ecuaciones. Además, se hace necesario crear en el estudiante la cultura de asombrarse y cuestionarse, de redescubrir los conceptos por medio de experiencias sencillas, ya que los estudiantes en la mayoría de los casos preguntan "*¿Cuáles son las fórmulas?"*, y piensan que la esencia son las formulas, desconociendo que la física utiliza la matemática como un medio, no como un fin. Rescatando los conceptos podremos lograr que los estudiantes expliquen, argumenten y predigan los fenómenos de la naturaleza de una forma más aproximada, de tal manera que se describan e identifiquen los alcances y limitaciones, de las fórmulas y modelos matemáticos.

Este trabajo presenta una propuesta didáctica que aborda la enseñanza de los conceptos de fuerza y segunda ley de Newton a partir de la realización de actividades y experiencias demostrativas utilizando elementos y experiencias del entorno. El análisis de sus resultados arroja una mejora estadísticamente significativa en el nivel de desempeño de los estudiantes, aunque predomina la persistencia en las ideas previas, las cuales se podrían reducir por medio de estrategias didácticas que permitan evidenciar de manera directa sus errores y limitaciones, al tiempo que se les presenten los conceptos como herramientas que explican y satisfacen sus expectativas. Para que ésta y las demás propuestas didácticas tengan una mayor relevancia, se requiere que los maestros de ciencias nos comprometamos con el fortalecimiento de la fundamentación

[3] Las ideas previas se mencionan en la introducción de este trabajo. Una información más detallada de éstas es tratada por MORA y HERRERA. Para una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza, ver Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol.3, No. 1, Jan. 2009.

conceptual de la mano con la experiencia vivencial. De esta manera se puede cultivar el pensamiento científico en los estudiantes, iniciando desde la edad temprana.

Bibliografía

Aragón, M. (2004). La ciencia de lo cotidiano. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (2004), 1*(*2*), 109 – 121.

Barragán, A. L. (2011). Un modelo de enseñanza neuropedagógico de las Leyes de Newton para la *Net Gen*. *Latin-American Journal of Physics Education*, *5*(2), 526 – 536.

Barragán, A. L. (2008). Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo. *Latin-American Journal of Physics Education, 2*(3), 253 – 258.

Biblioteca Digital. Las fuerzas de la naturaleza. Recuperado el 11 de julio de 2011, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/129/htm/sec_6.htm

Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. E*nseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.

Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *2*(3), 388 – 402.

Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (2004). Serie Guías N° 7. Ministerio de Educación Nacional.

Feynman, R. P. (1971). *The Feynman lectures on physics*. Bogotá: Fondo Educativo.

Fonseca, M., Hurtado, A. y Ocaña, O. (2006). La simulación y el experimento como opciones didácticas integradas para la conceptualización en física. *Revista Colombiana de Física*, *38*(2), 707 – 710.

French, A. P. (1978). *Mecánica Newtoniana*. Barcelona: Reverte.

García, M.B., Dell'oro, G. (2001). Algunas dificultades en torno a las leyes de Newton: una experiencia con maestros. *Revista Iberoamericana de Educación.*

García, R. y Sánchez, D. (2009). La enseñanza de conceptos físicos en secundaria: diseño de secuencias didácticas que incorporan diversos tipos de actividades. *Latin-American Journal of Physics Education*, *3*(1), 62 – 67.

Grifith, T. (2007). Física Conceptual, novena edición. México: Mc Graw Hill.

Garcia, Y. (2011). Dificultades en la Interpretación del concepto de Fuerza en estudiantes de grado décimo. Una propuesta didáctica para abordar la problemática. Recuperado el 20 de diciembre de 2011, de http://www.bdigital.unal.edu.co/view/year/2011.html#group_G

Hecht, E. (1987). *Física en Perspectiva*. Mexico: Addison Wesley Iberoamericana.

Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, *30*(3), 141 – 158.

Hewitt, P. G. (2007). *Física Conceptua*l (10 ed.). México: Addison Wesley Longman.

Kittel, CH., Knight, W. y Ruderman, M. (1969). *Berkeley physics course*. Barcelona: Reverte.

Londoño, M. F. (21/01/05). Notas de clase del curso física I para ingenieros. Recuperado el 14 de julio de 2011, de http://www.unalmed.edu.co/fisica/paginas/cursos/paginas_cursos/fisica_1/notas/notas_clase_fisica_1.html

Luangrath, P., Pettersson, S. y Benckert, S. (2011). On the Use of Two Versions of the Force Concept Inventory to Test Conceptual Understanding of Mechanics in Lao PDR. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 7*(2), 103 – 114.

Martin, T. y Serrano, A. (2011). Curso de física básica. Recuperado el 11 de julio de 2011, de http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/default.htm

Mora, C. y Herrera, D. Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. (2009). *Latin-American Journal of Physics Education, 3*(1), 72 – 86.

Nasa. Newton´s Laws of Motion. Recuperado el 19 de Julio de 2011, de http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/newton.html

Nasa. Vec–Touring. Recuperado el 10 de septiembre de 2011, de http://spaceplace.nasa.gov/vec-touring/sp/#

Pozo, J. I., Pérez, M., Sanz, A. y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, *57*(1), 3 – 22.

Pozo, J.I. (1987). … Y, sin embargo, se puede enseñar ciencia. *Infancia y aprendizaje*, *38*(1), 109 – 113.

Proyecto Newton. Las fuerzas. Recuperado el 10 de septiembre de 3 de septiembre de 2011, de http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_4eso_fuerzas/4quincena3/4q3_index.htm

Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (1999). *Física (4 ed.)*. México: Continental.

Reyes J. D., Solano J. y Vargas N. Movilidad conceptual entorno a la idea de fuerza en profesores de física en formación inicial. Memorias II Congreso Nacional de investigación en educación en ciencias y tecnología. Junio 21 al 23 de 2010. ISBN: 978-958-99491-1-5.

Savinainen, A. y Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, *37*(1), 53 – 58.

Sears, F., Zemansky, M. y Young, H. (2009). Física universitaria (12 ed.). México: Pearson Educación.

Sepúlveda, A. (2003). Los conceptos de la física – evolución histórica. Universidad de Antioquia.

Unalmed. Física interactiva. Recuperado el 19 de julio de 2011, de http://www.unalmed.edu.co/~daristiz/index.html

Unalmed. Resumen – Definiciones Fundamentales. Recuperado el 14 de julio de 2011, de http://www.unalmed.edu.co/~daristiz/preuniversitario/unidades/cinematica/definiciones/concepto/

A. Anexo: Guía sobre cantidades escalares y vectoriales

En esta guía se hace una fundamentación conceptual acerca de las magnitudes escalares y vectoriales, se tratan y explican las operaciones con vectores de manera gráfica y analítica. Se presentan los conceptos de desplazamiento y trayectoria acompañados de ejemplos ilustrativos. Finalmente, se propone una actividad para el refuerzo de los contenidos tratados en torno a los vectores.

UNIDAD DIDACTICA I: Escalares, vectores, desplazamiento y trayectoria.

Al abordar la temática referente a la mecánica, es de vital importancia que el estudiante maneje los conceptos de escalar y vector, pues a través de éstos se explican y predicen los fenómenos que involucren el manejo y aplicación de los contenidos relativos a la mecánica vectorial, también conocida como mecánica Newtoniana.

Objetivos.

- El estudiante identificara a través de ejemplos y ejercicios las diferencias entre cantidades escalares y vectoriales.
- El estudiante representara desplazamientos utilizando vectores en una y dos dimensiones, para encontrar la posición de un cuerpo; estableciendo la diferencia entre desplazamiento y longitud de la trayectoria.

Actividad introductoria.

A continuación se presentan algunas preguntas y actividades a desarrollar, ejecútela o diga cuando no sea posible hacerlo por falta de información.

a) Diga su edad en años cumplidos._____
b) Camine cinco pasos._____
c) ¿Cuál es la nota mínima para aprobar la asignatura?_____
d) Vaya a la sala de maestros y me trae un libro._____
e) ¿Cuál es el estrato de su vivienda?_____
f) Suponga que a 10 metros de la biblioteca se encuentra un premio sorpresa, ¿basta con esta información para encontrarlo?_____
g) ¿Cuánto cuesta el pasaje del colectivo?_____
h) Diríjase a la casa del profesor José Ramírez que está ubicada en la comuna cinco._____

Desarrollo del tema.

Se dan a conocer los conceptos presentados a continuación acompañados de diversos ejemplos, por efectos de no extender la guía se enunciaran algunos ejemplos en particular.

Cantidades escalares y vectoriales.

Existen dos conceptos fundamentales en el tratamiento de los contenidos de la mecánica, sin los cuales no sería posible describir y explicar los fenómenos de la

naturaleza, sin lugar a dudas nos estamos refiriendo a los conceptos de escalar y vector.

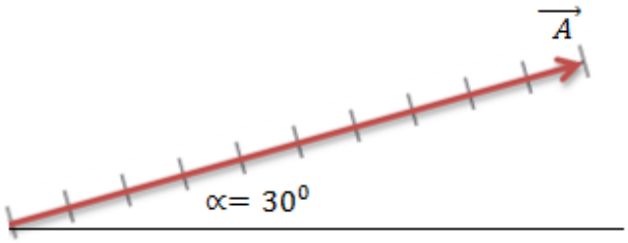
Cantidades escalares: son aquellas que quedan completamente determinadas al dar un numero real (magnitud) y una unidad de medida. Por ejemplo:

- Masa de un cuerpo
- Longitud de un segmento
- Temperatura de un recinto
- Volumen de un sólido

Cantidades vectoriales: son aquellas que para quedar totalmente determinadas requieren de un número real (magnitud) y una dirección. Por ejemplo:

- El desplazamiento
- La velocidad
- La aceleración
- El momentum o cantidad de movimiento

Las cantidades vectoriales se representan a través de vectores. Un **vector** es una flecha que tiene magnitud y dirección, por ejemplo la magnitud del vector $\overrightarrow{A}$, se denota $\|\overrightarrow{A}\|$ y representa la longitud de la flecha, mientras que su dirección está determinada por la rotación o el ángulo de la flecha respecto a una referencia. Sea el diagrama:

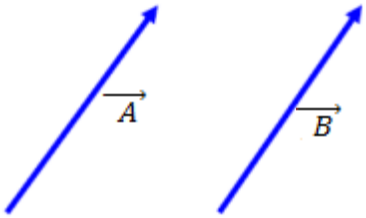


Como se puede apreciar, respecto al vector $\overrightarrow{A}$ se tiene:

$\|\overrightarrow{A}\| = 10\ unidades$ y su dirección 30^0 respecto a la línea horizontal

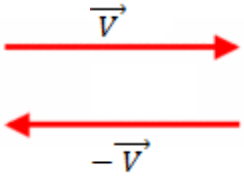
Algunos casos particulares de vectores:

- Dos vectores son iguales cuando tienen la misma magnitud y dirección.



Decimos que $\vec{A} = \vec{B}$ puesto que están en la misma dirección y la longitud de las flechas es la misma

- Si le pongo un menos (-) a un vector, la flecha se voltea. Y a ese vector se le conoce con el nombre de el opuesto. Es decir:

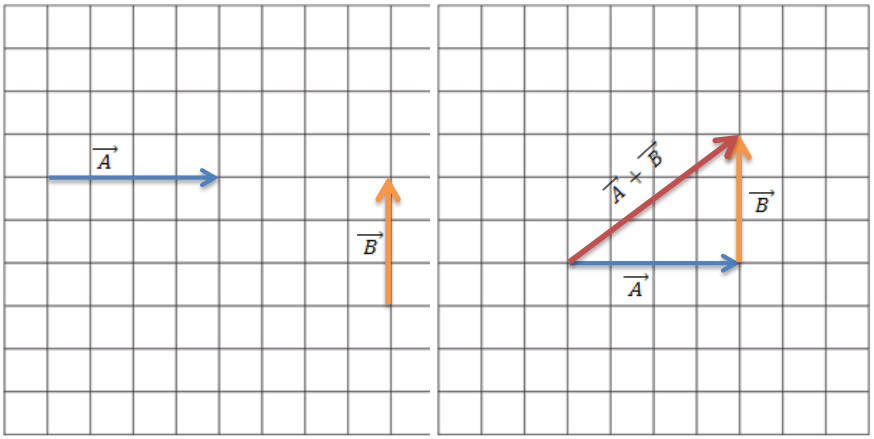


Operaciones con vectores.

Suma y resta de vectores.

El profesor elige un voluntario para que salga al tablero y le pide que dibuje un vector $\vec{A}$**,** que tenga 4 cuadriculas hacia la derecha. Luego, debe dibujar un vector $\vec{B}$ que tenga 3 cuadriculas hacia arriba, ahora sume los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ y encuentre la magnitud de la suma ($\|\vec{A} + \vec{B}\|$).

La representación que el estudiante elabora en el tablero es:



La flecha roja representa $\vec{A} + \vec{B}$, haciendo las cuentas tenemos:

$\vec{A} + \vec{B}$ = 4 cuadritos a la derecha y luego 3 cuadritos hacia arriba

La representación anterior se puede escribir de una manera más formal, para ello hacemos uso de los vectores unitarios, los cuales son vectores que tienen magnitud igual a uno y sirven para especificar una dirección determinada, se usan los símbolos $\vec{\imath}$, $\vec{\jmath}$ para representar vectores unitarios que apuntan en las direcciones ***x***, ***y*** positivas, respectivamente.

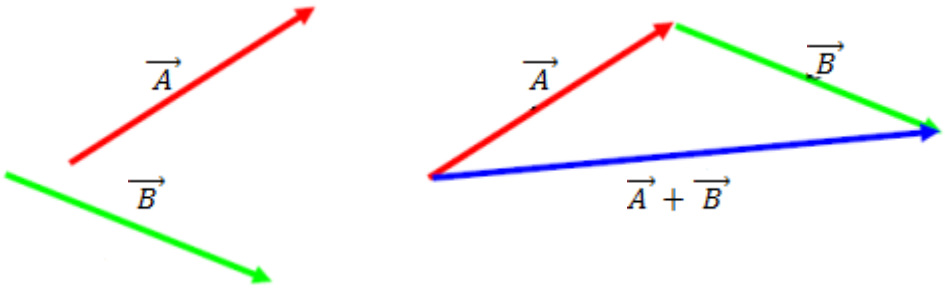
Entonces: $\vec{A} + \vec{B} = 4\,\vec{\imath} + 3\,\vec{\jmath}$, encontramos la magnitud de este vector, para ello se usa el teorema de Pitágoras puesto que la figura es un triangulo rectángulo cuya hipotenusa corresponde a la magnitud($\|\vec{A} + \vec{B}\|$). Es decir:

$$\|\vec{A} + \vec{B}\| = \sqrt{4^2 + 3^2}$$

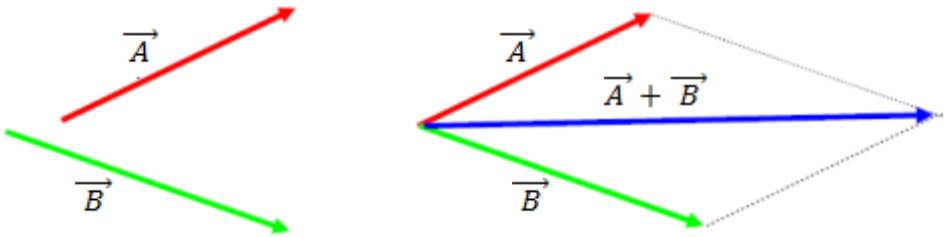
$\|\vec{A} + \vec{B}\| = \sqrt{25} = 5$, resultado que también lo podemos comprobar utilizando la regla para comparar la longitud de la flecha roja y nos daremos cuenta que es igual a 5 cuadritos.

El proceso efectuado en el ejemplo anterior se puede ejecutar de cualquiera de las siguientes formas:

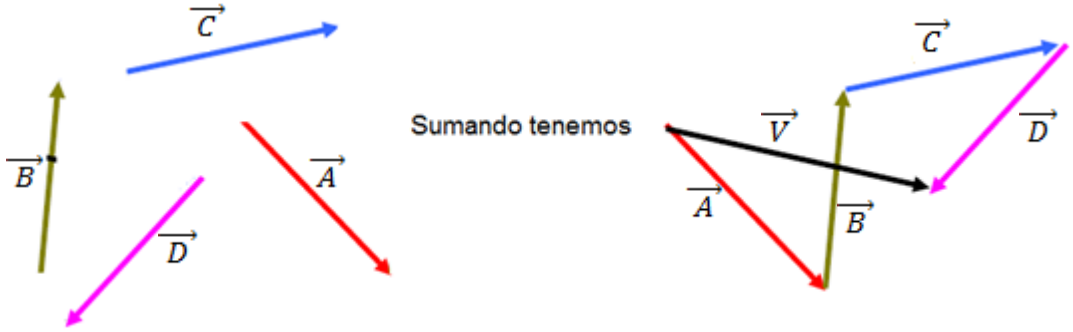
Primera: método del triangulo, que consiste en tomar dos vectores cualesquiera $\vec{A}$ y $\vec{B}$ y colocar un a continuación del otro. Luego, se traza el vector que una la cola del primero con la cabeza del otro, lo cual completa el triangulo, es decir:



Segunda: método del paralelogramo, que consiste en tomar $\vec{A}$ y $\vec{B}$ con el mismo origen y definiendo la suma como la diagonal del paralelogramo construido sobre $\vec{A}$ y $\vec{B}$ que pasa por el origen, en efecto:



Tercera: método del polígono, para sumar algebraicamente varios vectores basta con llevarlos sucesivamente de manera que la cola de cada uno coincida con la cabeza de su antecesor, donde el vector suma será aquel que tenga como origen el primer vector y cabeza el ultimo vector. Por ejemplo:



El vector $\vec{V}$, representa la suma de los vectores $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ y $\vec{D}$, por tanto se tiene que:

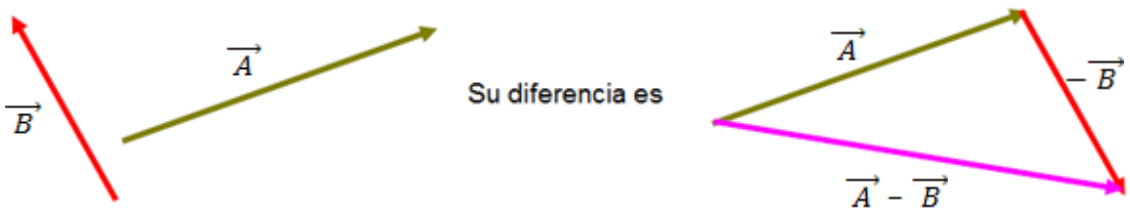
$$\vec{V} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$$

Resta de vectores.

La diferencia entre dos vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$, notada $\vec{A} - \vec{B}$ la determinamos al efectuar la suma del vector $\vec{A}$ con el opuesto del vector $\vec{B}$ $(-\vec{B})$, es decir:

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$$

Por ejemplo:



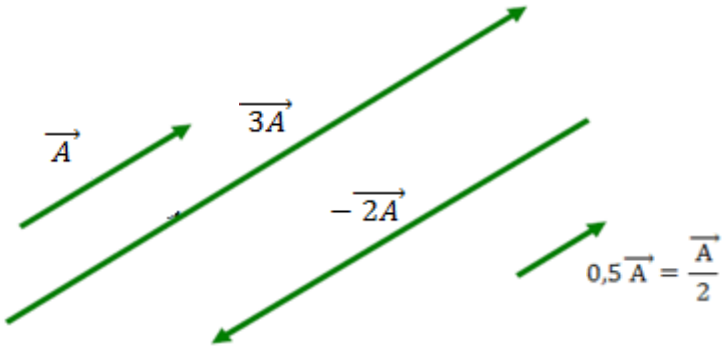
Como se puede visualizar en el esquema anterior, lo que se hizo fue colocar en el extremo del vector $\vec{A}$, el vector $-\vec{B}$, que tiene igual magnitud que $\vec{B}$, se voltea debido al signo menos.

Algo curioso:

Observemos que al usar el método del paralelogramo, $\vec{A}+\vec{B}$ está representada por la diagonal de mayor longitud, mientras que $\vec{A}-\vec{B}$ lo representa la diagonal de menor longitud.

Producto de un vector por un escalar.

Los vectores pueden ser multiplicados por una magnitud escalar. Se denomina producto $\lambda\vec{A}$ del vector a por el escalar λ, al vector que tiene i) la magnitud al producto de la magnitud de $\vec{A}$ por el valor absoluto de λ; ii) la misma dirección que $\vec{A}$ si λ es positivo y dirección contraria si λ es negativo. Por ejemplo:



Conexión con la tecnología.

La Institución Educativa Normal Superior de Neiva, cuenta con un aula móvil dotada con 20 computadores portátiles con acceso a internet, se hará uso de ésta para trabajar de manera interactiva en el manejo de los vectores. Apoyados en

vec→touring, que es una aplicación on-line de la NASA, cuyo enlace es: http://spaceplace.nasa.gov/vec-touring/sp/# , los estudiantes orientados por el profesor podrán disfrutar de una forma didáctica de trabajo con vectores.

Posición, desplazamiento y trayectoria.

Los conceptos antes mencionados son elementos ineludibles para los temas que vamos a tratar de ahora en adelante, es por ello que abordaremos los conceptos de posición, desplazamiento y trayectoria a manera de aplicaciones inmediatas de los vectores y escalares. En la presente sección se trabajara con ejemplos y ejercicios que nos permitan hacer claridad en los conceptos tratados hasta el momento, al tiempo que obtener las bases fundamentales para tratar los contenidos que se desarrollaran en las secciones posteriores.

Posición:

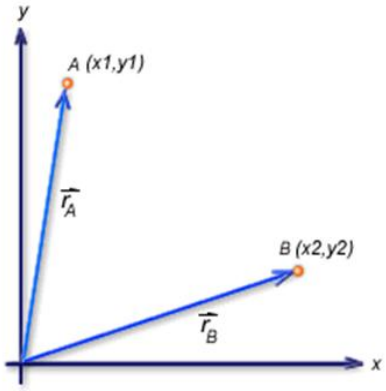
Para representar la posición de un cuerpo es necesario un sistema de coordenadas, dicho sistema puede ser de una, dos o tres dimensiones. En las temáticas que trataremos vamos a emplear los sistemas de coordenadas en una y dos dimensiones.
La posición de un cuerpo se representa como un vector cuya punto inicial (cola) está en el origen del sistema de coordenadas y su extremo (cabeza) está en el punto correspondiente a su posición, el vector posición lo denotaremos con el símbolo $\vec{r}$.

Ejemplos:

1. En la figura que se muestra a continuación, la posición del cuerpo A en una dimensión (1D), está representada mediante el vector $\vec{r}_A$.

De la figura se deduce que: $\vec{r}_A = 9\hat{\imath}$ unidades de longitud, lo cual nos indica que el cuerpo A se encuentra a 9 unidades de longitud hacia la derecha del origen 0.

2. En el siguiente diagrama se representa la posición de dos partículas en un sistema de coordenadas cartesianas.



A la derecha, se representa la posición de dos partículas ***A*** y ***B***, en un diagrama bidimensional (2D), cuyos vectores de posición son $\vec{r}_A$ **y** $\vec{r}_B$ respectivamente. De igual manera se tiene que:

$$\vec{r}_A = x_1\,\hat{\imath} + y_1\hat{\jmath}$$

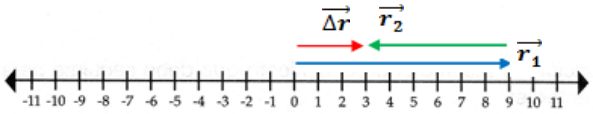
$$\vec{r}_B = x_2\,\hat{\imath} + y_2\hat{\jmath}$$

Desplazamiento:

Al cambio de la posición de una partícula se le denomina desplazamiento y lo notamos $\overrightarrow{\Delta r}$**.** El desplazamiento de una partícula es un ***vector*** que se encuentra al efectuar la resta vectorial entre el vector posición final y el vector posición inicial. En efecto: $\overrightarrow{\Delta r} = \overrightarrow{r_f} - \overrightarrow{r_i}$

A continuación se ilustra el vector desplazamiento en una y dos dimensiones.

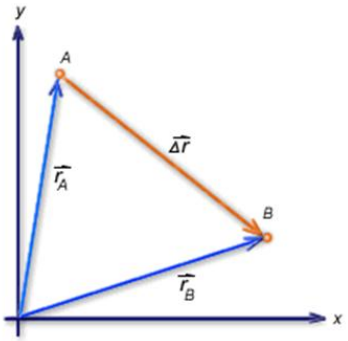
En una dimensión (1D)



El desplazamiento $\overrightarrow{\Delta r}$, es:

$$\overrightarrow{\Delta r} = \overrightarrow{r_2} - \overrightarrow{r_1}$$

En dos dimensiones (2D)



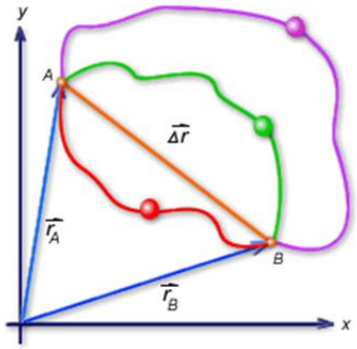
El desplazamiento $\overrightarrow{\Delta r}$, es:

$$\overrightarrow{\Delta r} = \overrightarrow{r_B} - \overrightarrow{r_A}$$

Ejercicio.

Se le pide a tres estudiantes que describan la ruta que utilizan para llegar a la cafetería partiendo desde su salón de clase.

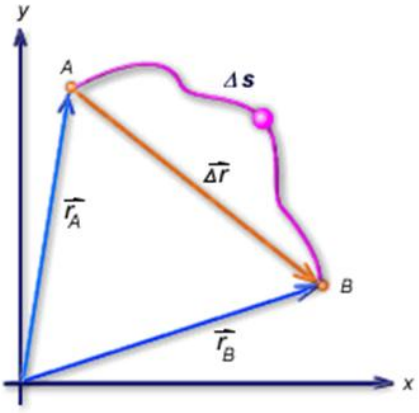
Muy seguramente los caminos indicados por los estudiantes van a diferir, se aprovecha este hecho para sacar una conclusión muy importante respecto al desplazamiento y consiste en que el desplazamiento de un cuerpo es independiente de la trayectoria descrita por éste, sino que depende solo del punto de partida y del punto de llegada. Sea la siguiente figura.



En la figura de la izquierda, podemos apreciar tres partículas que tienen el mismo desplazamiento a pesar de haber seguido trayectorias distintas.

Longitud de la trayectoria

Recordemos que la trayectoria es la línea imaginaria que describe una partícula durante su movimiento (consideremos el caso de un avión a reacción). La longitud de la trayectoria notada $\overrightarrow{\Delta s}$ es una magnitud ***escalar***, que corresponde a la medida de la longitud de la huella o estela descrita por la partícula. Por ejemplo:



En la figura se ilustra cómo la partícula al desplazarse desde la posición A hasta la posición B, recorre una longitud equivalente a $\overrightarrow{\Delta s}$ (en este caso es la longitud del camino de color violeta, AB). Así mismo, se puede observar que:

$$\left|\overrightarrow{\Delta r}\right| \neq \Delta s$$

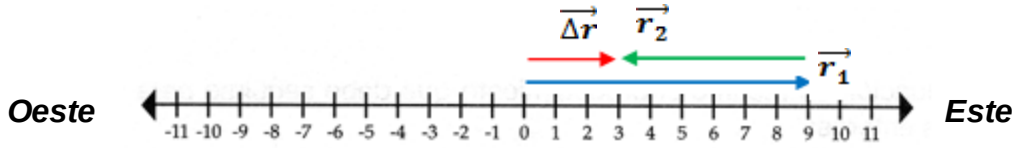
Ejemplos

1. Un jinete y su caballo parten desde el punto 0 y cabalgan 9km al este, luego se regresan y cabalgan 6km al oeste. Calcular:

a) su desplazamiento.

b) la longitud de la trayectoria.

c) son iguales a) y b) ¿Por qué?



Solución:

a) desplazamiento: $\overrightarrow{\Delta r} = 3km\,\hat{\imath} - 0km\,\hat{\imath}$

$$\overrightarrow{\Delta r} = 3km\,\hat{\imath}$$

b) longitud de la trayectoria: $\Delta s = 9km + 6km$

$$\Delta s = 15km$$

c) como se puede apreciar $|\overrightarrow{\Delta r}| \neq \Delta s$, puesto que el desplazamiento solo considera el punto de partida y el de llegada, mientras que la longitud de la trayectoria hace referencia a todo el camino que se debe recorrer desde el punto de partida hasta el punto de llegada.

2. En los diagramas que se presentan a continuación suponga que la longitud de cada cuadrito es de 1 cm. Hallar: 1) $\overrightarrow{A} + \overrightarrow{B}$ y $\|\overrightarrow{A} + \overrightarrow{B}\|$

2) $\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B}$ y $\|\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B}\|$

Diagrama 1

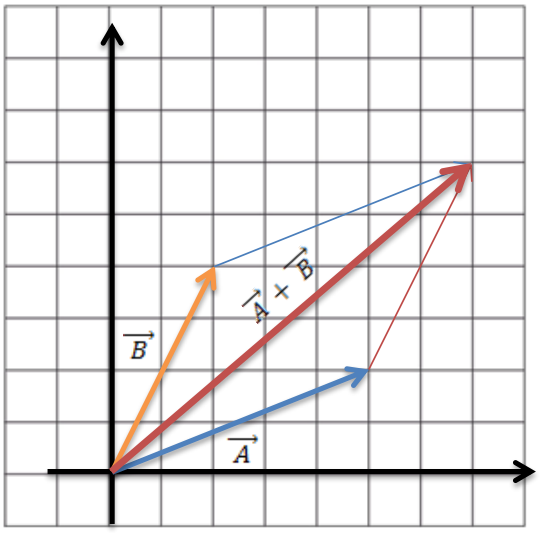
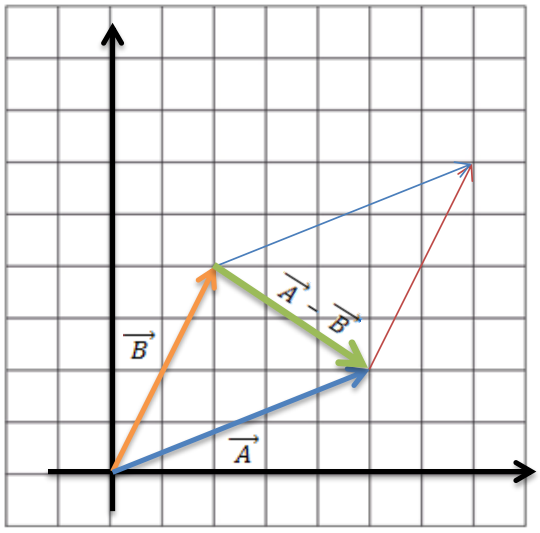


Diagrama 2



Expresamos los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ en términos de vectores unitarios y de sus componentes sobre cada eje (horizontal y vertical).

$\vec{A} = 5cm\ \vec{\imath} + 2cm\ \vec{\jmath}$

$\vec{B} = 2cm\ \vec{\imath} + 4cm\ \vec{\jmath}$

Teniendo en cuenta los diagramas y los ejemplos anteriores, se puede deducir que el vector suma está conformado por las sumas de cada una de las componentes de los vectores a sumar. Por tanto se tiene que:

1) $\vec{A} + \vec{B} = (5cm + 2cm)\vec{\imath} + (2cm + 4cm)\vec{\jmath}$

$\vec{A} + \vec{B} = (7cm)\vec{\imath} + (6cm)\vec{\jmath}$

Ahora $\|\vec{A} + \vec{B}\| = \sqrt{7^2 + 6^2}$

$\|\vec{A} + \vec{B}\| = \sqrt{85} \approx 9{,}22\ cm$

2) $\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B} = (5cm - 2cm)\overrightarrow{\imath} + (2cm - 4cm)\overrightarrow{J}$

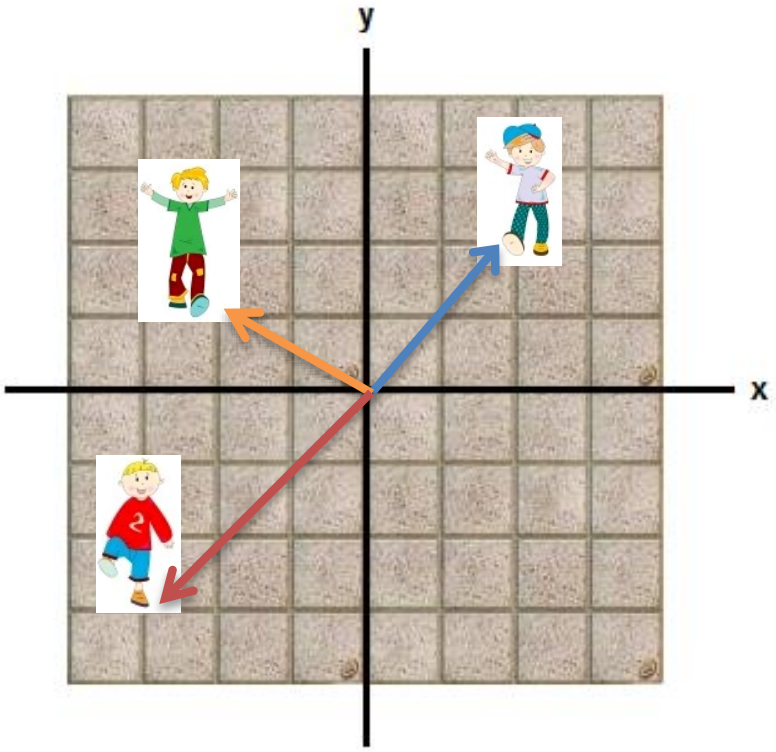
$$\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B} = (3cm)\overrightarrow{\imath} - (2cm)\overrightarrow{J}$$

Ahora $\|\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B}\| = \sqrt{3^2 + 2^2}$

$$\|\overrightarrow{A} - \overrightarrow{B}\| = \sqrt{13} \approx 3{,}61cm$$

Actividad final

Aprovechando el diseño del piso del salón de clase, se conforman grupos de tres estudiantes, para que escojan un sistema de coordenadas y se ubique en él, luego, determinen su posición con respecto al origen para que finalmente encuentren el vector resultante debido a la suma de cada uno de sus vectores de posición. El diagrama a construir será similar al que se presenta en la figura.



B. Anexo: Guía sobre velocidad

La guía se distribuye en cuatro fases cuyas actividades están enfocadas hacia el reconocimiento y aplicación del concepto de velocidad, tales actividades se desarrollan por medio de una actividad deportiva.

Actividad: velocidad

Objetivo:
Vivenciar el concepto de velocidad a través de una actividad deportiva.

Materiales:
- ✓ Cinta métrica.
- ✓ Cronometro.

Fase 1.

En grupos de cuatro estudiantes, se escoge una distancia fija (entre 20m y 40m), que será la pista de carreras. Cada uno de los integrantes del grupo recorrerá la distancia mientras otro compañero registra el tiempo empleado en la carrera. El anterior proceso se debe repetir cinco veces. Para evitar el agotamiento, se deben alternar los competidores. Los datos se consignan en la siguiente tabla.

Tiempo / **Competidor**	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	t promedio (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad media (m/s)

a) ¿Cuál competidor fue el más rápido?_____
¿Cuál fue el más lento?_____

b) Describa el procedimiento que utilizó para responder las anteriores preguntas.

Fase 2.
Conservando los grupos de la fase 1, cada integrante deberá recorrer la mayor distancia en un tiempo fijo de 5s. Sus compañeros controlaran el tiempo y registraran la distancia recorrida. El anterior proceso se debe repetir cinco veces. Para evitar el agotamiento, se deben alternar los competidores. Los datos se consignan en la siguiente tabla.

Competidor	Distancias recorridas (m)					Distancia promedio (m)	tiempo (s)	Velocidad media (m/s)
	1	2	3	4	5			
							5	
							5	
							5	
							5	

a) ¿Cuál competidor fue el más rápido?_____
¿Cuál fue el más lento?_____

b) Describa el procedimiento que utilizó para responder las anteriores preguntas.
c) Al comparar los nombres de los estudiantes más rápidos y más lentos en las dos tablas anteriores ¿estos coinciden?

Fase 3

Ahora, se establece una competencia dos a dos, es decir de los cuatro integrantes del grupo, se forman dos grupos de dos personas para que mientras un recorra una distancia x, el otro recorra el doble (2x), para ello nos apoyamos en la siguiente tabla para el registro de los datos.

Tiempo / **Competidor**	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	t promedio (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad media (m/s)
							10	
							20	
							15	
							30	

a) ¿Cuál competidor fue el más rápido?_____
¿Cuál fue el más lento?_____

b) Describa el procedimiento que utilizo para responder las anteriores preguntas.

Fase 4

Con los grupos establecidos en la fase 3, se escoge un estudiante para que recorra la distancia que le sea humanamente posible en un tiempo fijo (t), y su compañero debe recorrer la distancia que le sea posible durante el doble de tiempo (2t) que su compañero, y nos apoyamos en la siguiente tabla para el registro de los datos.

Competidor	Distancias recorridas (m)					Distancia promedio (m)	tiempo (s)	Velocidad media (m/s)
	1	2	3	4	5			
							5	
							10	
							7	
							14	

a) ¿Cuál competidor fue el más rápido?_____
¿Cuál fue el más lento?_____

b) Describa el procedimiento que utilizo para responder las anteriores preguntas.

C. Anexo: Guía sobre las fuerzas y su naturaleza

La guía presenta una fundamentación teórica acerca de las cuatro interacciones fundamentales. Se presentan unas situaciones problema en donde se indaga acerca del reconocimiento y clasificación de las fuerzas presentes.

Unidad didáctica II: Las fuerzas, su naturaleza y tercera ley de Newton.

Estamos inmersos en un universo en donde cada uno de nosotros esta interactuando continuamente con el medio y a su vez éste interactúa con nosotros. Recuerdo que frecuentemente exclamamos cuando miramos una pareja en proceso de conquista, decimos cosas como: uuuuyyyyy, ututuuyyyy, no contaban, ya nosotros sabíamos que ahí había química, yo me atrevería a decir que también hay mucha física, pues en virtud de la ley de atracción gravitacional existe interacción entre todos los cuerpos, tal interacción depende de la masa éstos y su distancia de separación.

Objetivos

- Que el estudiante identifique cuándo se hace una fuerza y cuándo no, tanto para fuerzas de contacto como para fuerzas a distancia.
- Que el estudiante represente, a través de vectores, las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- Que el estudiante prediga cómo las fuerzas modifican el estado de movimiento de los cuerpos.

Actividad introductoria.

Se conforman grupos tres estudiantes para que ejecuten las actividades que se presentan a continuación. Los estudiantes deben tomar registro de lo acontecido, para luego socializar sus observaciones.

a) Pídale a un compañero que camine en línea recta a paso constante. Más adelante, otro compañero le proporciona un empujón en dirección perpendicular. Observen cómo cambia el movimiento y dibujen con vectores el movimiento inicial, el movimiento final, el cambio de movimiento y la fuerza. Discutan lo sucedido y registren su apreciación.
b) Repitan la situación anterior pero ahora el compañero le da un empujón en la misma dirección de su movimiento. Discutan lo sucedido y registren su apreciación.
c) Repitan la situación anterior, pero ahora el compañero le da un empujón en dirección contraria a su movimiento. Discutan lo sucedido y registren su apreciación.
d) Deje caer su mano empuñada sobre la superficie de la mesa. Discutan lo sucedido y registren su apreciación.
e) De un recipiente con arena de río (que tiene bastante hierro), tome un poco de ésta y colóquelo sobre una hoja de papel, luego acerque un imán. Discutan lo sucedido y registren su apreciación.

Cada grupo escoge un relator para que exponga sus apreciaciones.

Desarrollo del tema.

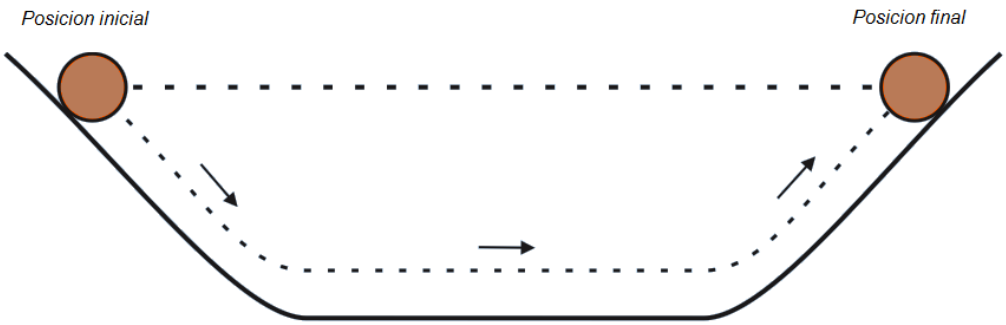
Se exponen y discuten los conceptos relativos a las fuerzas, apoyándonos en los procesos de la actividad introductoria.

Concepto de fuerza.

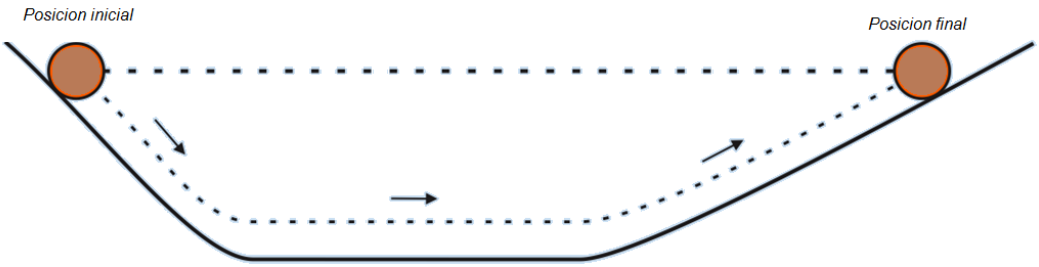
Desde la antigüedad el ser humano se ha cuestionado y ha intentado dar explicación a los fenómenos de la naturaleza. El gran sabio Aristóteles pesaba que el movimiento de los cuerpos obedecía a que sobre éstos se aplicaba una fuerza de manera continua, y que al desaparecer la fuerza el cuerpo se detenía. Esta concepción prevaleció por casi 2000 años. Las ideas aristotélicas fueron refutadas por Galileo, quien pudo comprobar que los cuerpos que están en movimiento se siguen moviendo solos, siempre y cuando nadie les haga fuerza, y que si se detienen era bajo la acción de una fuerza que los frena. Posteriormente, Newton organiza y complementa las ideas anteriores en su gran teoría del movimiento.

A continuación se presenta el montaje propuesto por Galileo para refutar la concepción Aristotélica que afirmaba que para que un cuerpo se mantuviera en movimiento era necesario aplicarle un tirón o empuje.

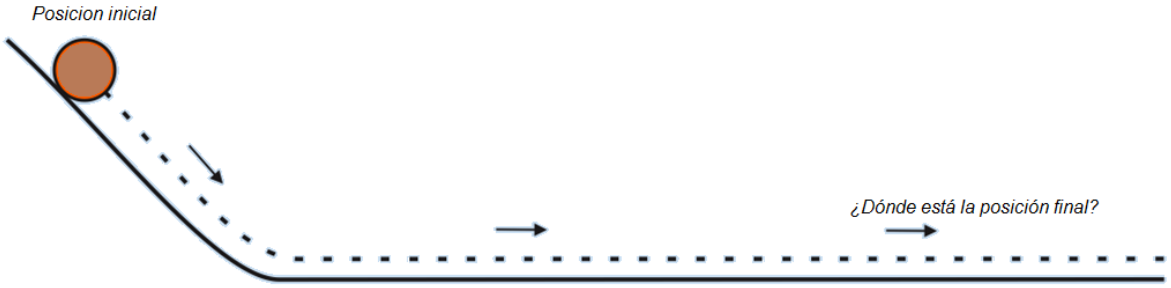
Galileo observó que una esfera, soltada desde el reposo en la parte superior de un plano inclinado hacia abajo, rodaba hacia abajo y después hacia arriba por la pendiente inclinada hacia arriba, hasta que casi llegaba a su altura inicial. Dedujo que sólo la fricción evitaba que subiera hasta llegar exactamente a la misma altura, porque cuantos más lisos fueran los planos, la esfera llegaría más cerca a la misma altura original. De ahí en adelante, realizó sus experimentos con superficies reales, pero siempre pensando en lo que pasaría si fueran completamente lisas.



Luego, redujo el ángulo del plano inclinado hacia arriba. De nuevo la bola subió casi hasta la misma altura, pero tuvo que ir más lejos. Con reducciones adicionales del ángulo obtuvo resultados parecidos: Para alcanzar la misma altura, la esfera tenía que llegar más lejos cada vez.



Entonces se preguntó: “Si tengo un plano horizontal largo y completamente liso, ¿hasta dónde debe llegar la esfera para alcanzar la misma altura inicial?”



Como el movimiento de bajada de la esfera en el primer plano es igual en todos los casos, su rapidez al comenzar a subir por el segundo plano es igual en todos los casos. Si sube por una pendiente más inclinada, pierde su rapidez rápidamente. En una pendiente menos inclinada la pierde con más lentitud, y rueda durante mayor tiempo. Cuanto menor sea la pendiente de subida, con más lentitud pierde su rapidez.

En el tercer caso, cuando el plano es horizontal, la esfera no debería perder rapidez alguna. En ausencia de fuerzas de fricción, la esfera debe seguirse moviendo por siempre, sin desacelerarse. A la propiedad de que los cuerpos se siguen moviendo solos,

sin necesidad de que nadie los empuje, y que solo cambian su movimiento cuando alguen los empuja, la llamamos INERCIA.

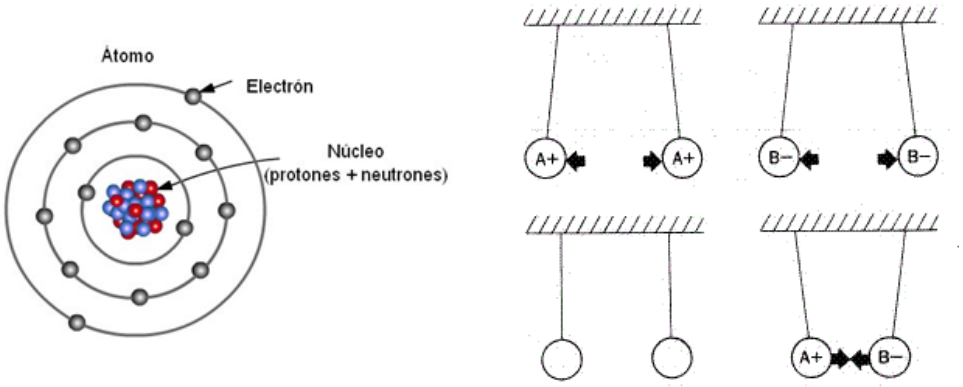
Aun no hemos respondido ¿Qué es fuerza?

Si nos remitimos a los resultados de la actividad introductoria, le respuesta es inmediata. **Las fuerzas son a aquellos empujones y jalones que se hacen sobre los objetos, y que hacen que los objetos cambien su estado de movimiento, ya sea para acelerarlos, frenarlos o desviarlos.**

Las fuerzas las podemos clasificar en dos grandes grupos: fuerzas de contacto y fuerzas de acción a distancia. Las fuerzas de contacto son aquéllas que resultan cuando los cuerpos se tocan, mientras que las fuerzas de acción a distancia actúan sin que haya cercanía entre los cuerpos. En nuestra vida diaria, casi todas las fuerzas que vemos son fuerzas de contacto, excepto las fuerzas de los imanes y la fuerza de la gravedad, que son fuerzas a distancia.

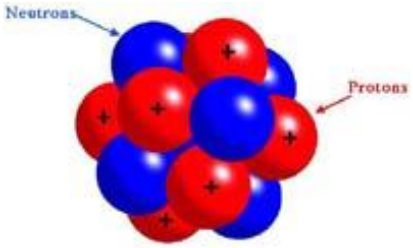
Para hacer una descripción más detallada de los fenómenos de la naturaleza, la física contemporánea recurre a cuatro interacciones o fuerzas fundamentales: fuerza electromagnética, fuerza nuclear fuerte, fuerza nuclear débil y fuerza de atracción gravitacional.

Fuerza electromagnética: es la fuerza relacionada con las cargas (que pueden ser positvas o negativas), y hace que cargas del mismo signo se repelen y que cargas de signo opuesto se atraen. Es la fuerza responsable de que haya luz eléctrica en la casa y que funcionen el televisor y los computadores, pero también es la que une los átomos para formar moléculas y dar estructura rígida a todas las cosas, y la fuerza que mantiene unidos a los electrones (negativos) al núcleo atómico (positivos). De hecho, todas las fuerzas de nuestra vida diaria diferentes a la fuerza de gravedad son fuerzas electromagnéticas. Por ejemplo, cuando empujamos una caja con nuestras manos, los electrones de la superficie de nuestras manos se repelen con los electrones de la superficie de la caja, y por eso se empujan entre sí. De esta manera, todas las fuerzas de contacto son electromagnéticas. Es mucho más intensa que la fuerza gravitatoria, tiene dos sentidos (positivo y negativo) y su alcance es infinito. En el diagrama de la izquierda se aprecia la estructura de un átomo y a la derecha la interacción entre cargas eléctricas, ambos casos son ejemplos de fuerzas electromagnéticas.

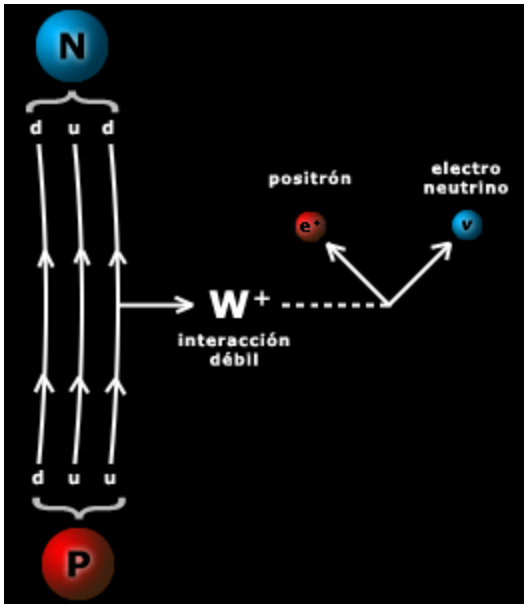


Se sabe que el electromagnetismo, al ser mucho más fuerte que la gravedad, describe casi todos los fenómenos de nuestra experiencia cotidiana. Estos van desde el rayo láser y la radio, a la estructura atómica y a fenómenos tales como la fricción y el arco iris.

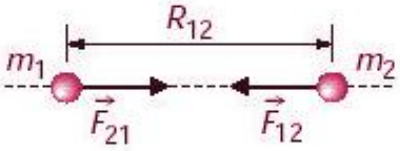
Fuerza nuclear fuerte: es la que mantiene unidos los quarks dentro de los protones y neutrones que forman el núcleo. Es tan fuerte que nadie ha podido ver un quark solo. Como efecto lateral, un quark de un protón alcanza a atraer un poco al quark de otro protón o de un neutrón, y esto es lo que mantiene unido al núcleo atómico. Esta fuerza residual entre protones y neutrones es 100 veces más fuerte que la fuerza electromagnética. La fuerza entre los quarks es mucho mayor (del orden de 10000 Newtons), tan grande que arrancar un quark de un protón genera energía suficiente como para crear nuevos quarks que, unidos con el quark que arrancamos, generan mesones. Esta es la razón por la que no se pueden ver quarks solos, sino siembre ligados con otros.

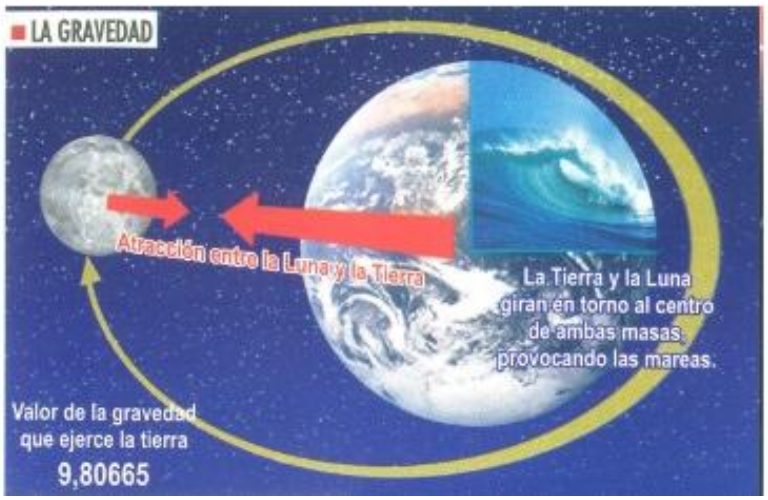


Fuerza nuclear débil: es la responsable de la desintegración beta de los neutrones; los neutrinos son sensibles únicamente a este tipo de interacción. Su intensidad es menor que la de la fuerza electromagnética y su alcance es aún menor que el de la interacción nuclear fuerte.

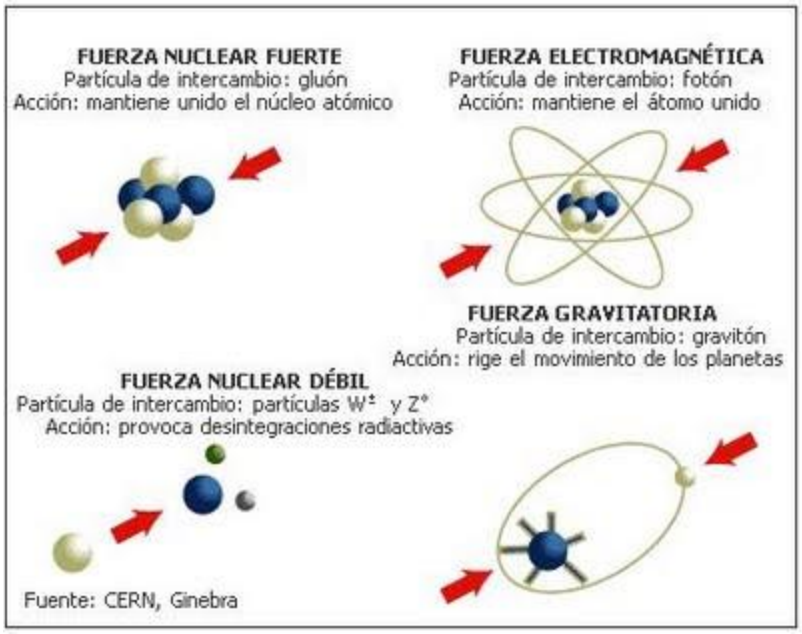


Fuerza de atracción gravitacional: es la más conocida de las interacciones. La fuerza gravitatoria es la fuerza de atracción entre cuerpos en virtud de sus masas. Es una fuerza muy débil, de un solo sentido (hacia el centro del objeto masivo), pero de alcance infinito. Es la responsable de mantener en órbita los cuerpos celestes, de la caída de los cuerpos, de las mareas, entre otros.





He aquí un diagrama que resume las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales:



Situaciones problema:

Se plantean los siguientes ejemplos para que los estudiantes los discutan y establezcan conclusiones, mediados por el profesor.

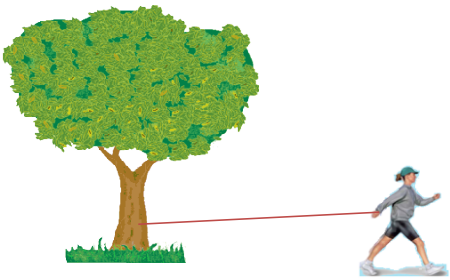
1) Un compañero se sube a una patineta. Otro compañero le dá un empujón, así:

a) ¿Por qué comienza a moverse? ¿Hay cambio en el movimiento? ¿Qué produce ese cambio?
b) ¿Quién hace la fuerza y de qué tipo es?
c) Cuando ya se está moviendo, y lo dejamos de empujar, ¿por qué se frena? ¿Qué fuerza lo frena? ¿Quién hace esa fuerza?

1) Un compañero se sube a una patineta, lo atamos de una cuerda y lo halamos, caminando a velocidad constante:

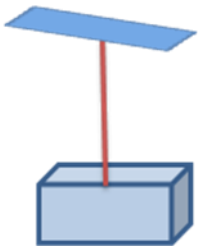
d) ¿Quiénes le hacen fuerza? ¿Hay fricción?
e) Cuando ya se está moviendo a velocidad constante, ¿hay cambio en el movimiento? Entonces, ¿qué puede decir de las fuerzas?

2) Con una cuerda, se hala un árbol de gran tamaño, tal como se muestra en el diagrama.



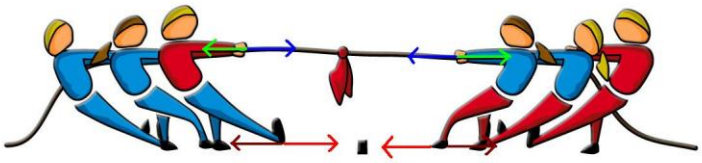
a) ¿Se le está aplicando una fuerza? ¿en qué dirección?
b) ¿el árbol se mueve? ¿por qué?
c) ¿Qué ocurrirá si más personas ayudan a jalar el árbol?

3) La figura muestra un cuerpo suspendido por una cuerda.



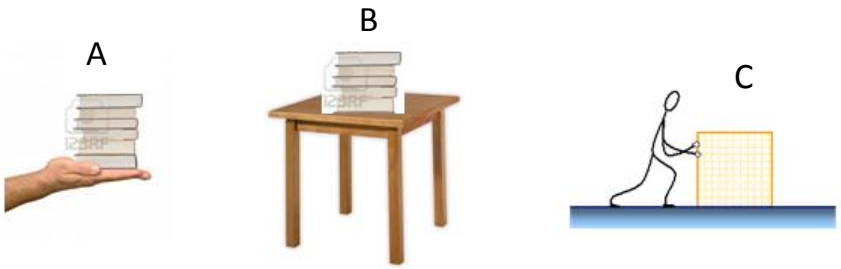
a) ¿a qué fuerzas está sometido? ¿de qué tipo son?
b) ¿Qué sucederá si cuelgo del bloque más objetos?
c) Si corto la cuerda. ¿para donde se mueve el bloque? ¿a qué fuerza(s) está sometido?

4) Considere un grupo de personas jugando a tirar de la cuerda.



a) ¿Qué fuerzas están involucradas y en que dirección?
b) ¿Qué equipo gana: el que hale con más fuerza la cuerda o el que empuje con más fuerza al piso?
c) Si las personas están quietas y siguen quietas, ¿cómo son estas dos fuerzas?

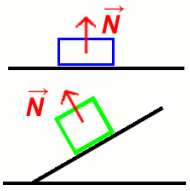
Algunas fuerzas mecánicas especiales:



Observe e identifique las fuerzas que actúan en cada situación.

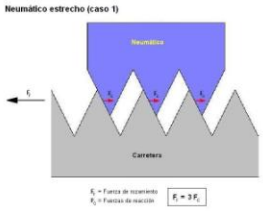
Existen tres fuerzas que trabajamos constantemente en la cotidianidad, pues gracias a éstas podemos realizar muchas actividades, tales fuerzas son: fuerza normal, fuerza de rozamiento y el peso.

Fuerza normal: es la parte de la fuerza de contacto que es perpendicular a la superficie de contacto. Cuando un bloque reposa sobre una mesa, es la fuerza que la mesa le hace al bloque. Como todas las fuerzas de contacto, es electromagnética, y se origina porque las dos superficies (la de la mesa y la del bloque) tienen electrones, que cuando las presionamos, se repelen entre sí. Así, la mesa le hace al bloque una fuerza normal (hacia arriba), y el bloque le hace a la mesa una fuerza normal (hacia abajo).

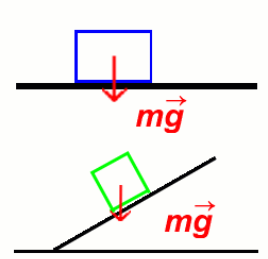


Fuerza de rozamiento: es la parte de la fuerza de contacto que va paralela a la superficie. Gracias a ella, podemos caminar o llevar platos sobre una bandeja. Cuando las

dos superficies son muy lisas, casi no se puede dar: no podemos caminar, y se cae la bandeja. Hay dos tipos de fuerzas de rozamiento: la estática, que es la que se da cuando las dos superficies en contacto no se deslizan, y la cinética, que se da cuando las dos superficies se deslizan. La estática tiene un valor máximo, después del cual ya se comienzan a deslizar las superficies. La dinámica, por el contrario, tiene un valor constante.



El peso: es la fuerza que ejerce la gravedad sobre una masa, este puede variar dependiendo de intensidad de la aceleración de gravedad del lugar donde se encuentre el cuerpo.



Actividad de afianzamiento.

Cada estudiante para la próxima clase traerá un caso en el cual se presente algunas de las fuerzas tratadas y lo debe socializar ante sus compañeros.

D. Anexo: Guía sobre cantidad de movimiento y segunda ley de Newton

La guía presenta una actividad de motivación a la temática. Se presenta la cantidad de movimiento e impulso, a partir de situaciones cotidianas. Se plantea la segunda ley de Newton a la manera de los Principia, a la cual se le hacen ciertas consideraciones para deducir la expresión convencional de la ley del movimiento, se ilustra con ejemplos y se complementa con ejemplos de las pruebas Saber 11.

Unidad didáctica III: Cantidad de Movimiento y segunda ley de Newton

Objetivos.

- Introducir el concepto de cantidad de movimiento a partir de actividades cotidianas.
- Observar y predecir los efectos de una fuerza al estado de movimiento de un cuerpo.

Actividad introductoria.

Aprovechando que el profesor Alfredo Osorio, es el líder del proyecto cuyo objetivo consiste en la construcción de unas bancas usando como materia prima el ladrillo ecológico. Se organizan grupos de cuatro estudiantes, que tendrán a su disposición los siguientes materiales:

- 3 ladrillos ecológicos
- 2 balones de igual tamaño pero con diferente masa (uno de micro y otro de caucho)

Fase 1

Se procura que el sitio de trabajo se lo más uniforme posible, es decir un piso plano y sin protuberancias (liso). Luego, se le pide a un integrante del grupo que patee cada uno de los balones procurando que la fuerza con que los golpea sea la misma en cada caso y que la trayectoria sea en línea recta. Los demás compañeros del grupo observan y marcan el lugar en donde se detienen los balones. Con base en lo anterior responder:

a) Al comparar las distancias recorridas por los balones ¿es la misma o diferente?_____

b) Se supone que cada balón se pateo con la "misma" intensidad. ¿a qué se debe la igualdad o diferencia entre las distancias recorridas por los balones?_____

Fase 2

Usando el mismo lugar de la fase 1, pero ahora se utilizan los ladrillos ecológicos. Se coloca un ladrillo a 5 metros justo en frente del lanzador, el estudiante debe patear cada uno de los balones de tal forma que logre derribar el ladrillo. Los demás compañeros observan y responden:

a) ¿Qué estrategia se utilizo para tumbar el ladrillo con el balón mas "pesado"_____
_____

b) ¿Qué estrategia se utilizo para tumbar el ladrillo con el balón mas "liviano"_____
_____

c) ¿Qué se puede concluir?_____
_____

Fase 3

Usando el mismo lugar de la fase 1, pero ahora se disponen los ladrillos ecológicos a una distancia de 5 metros del lanzador. El estudiante debe patear cada uno de los balones de tal forma que se logre tumbar los ladrillos, teniendo en cuenta la organización de los mismos, es decir: en filas (horizontal), en columnas (vertical) y amontonados. Los demás compañeros observan y responden:

a) Intente derribar los ladrillos cuando son colocados en forma horizontal (uno al lado del otro).
b) Intente derribar los ladrillos cuando son colocados en forma vertical (uno detrás del otro).
c) Intente derribar los ladrillos cuando están amontonados.
d) ¿en cuál de las disposiciones anteriores es más fácil tumbar los ladrillos? ¿Por qué?

Desarrollo del tema

A continuación se tratará la temática correspondiente a la cantidad de movimiento, la cual es muy importante para la deducción de la segunda ley de Newton tal como lo plantea en su obra los ***Principia***. A medida que a se avanza en la temática se irán discutiendo los ítems de la actividad introductoria.

Cantidad de movimiento

Consideremos dos velódromos en donde se están realizando unas competencias de vehículos. En el primero, los pilotos conducen automóviles; mientras que en el otro velódromo los pilotos ponen a prueba sus habilidades a bordo de vehículos de carga (tractomulas), consideremos el caso en que durante la competencia coincidencialmente se sale un vehículo de cada velódromo y choca con la barrera de contención, la cual está hecha de llantas inutilizadas. Parecería bastante lógico pensar que en el evento de que ambos vehículos dotados de la misma velocidad, al colisionar con la barrera de contención, será el conductor del vehículo de carga quien logre esparcir la mayor cantidad de llantas y por supuesto alejarlas considerablemente de su lugar.

Ahora, si nos imaginamos el escenario de un accidente de tránsito entre una tractomula y un camión pequeño; ocasionado como en la mayoría de las veces, por imprudencia de alguno de los conductores. Los vehículos que llevaban la misma rapidez, colisionan de frente cuando uno de los conductores invade el carril opuesto. Podríamos razonar de igual manera que en el caso anterior e inferir que a pesar de que al momento del choque ambos vehículos llevaban la misma velocidad pero en sentidos opuestos, la tractomula lograría devolver y/o desplazar con más facilidad al camioncito.

Surge la gran pregunta **¿a qué o a quien se debe tal situación?**

La respuesta podría estar debajo de la manga, por supuesto que estaremos haciendo referencia a la **masa** de los cuerpos, la cual está relacionada con la propiedad que poseen los cuerpos de conservar su estado de movimiento, y es en virtud de lo anterior, la razón por la cual en los casos citados anteriormente, los vehículos con mayor masa tenían la posibilidad de mover con más facilidad a los obstáculos que encontraban a su paso.

Ya se ha preparado el terreno lo suficientemente para que podamos abordar el concepto de *cantidad de movimiento* ($\overrightarrow{P}$) o momento lineal o como lo conocerían los antecesores a Newton, bajo el nombre de *ímpetu.*

El momento lineal o cantidad de movimiento ($\overrightarrow{P}$) de un cuerpo, está relacionado con su capacidad para ejercer fuerza sobre otros cuerpos que encuentre en su camino. Es una cantidad vectorial y corresponde al producto de la masa con la velocidad. Es decir:

$$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{v}$$

De acuerdo con la expresión anterior, un cuerpo puede tener gran cantidad de movimiento si posee una gran masa, una gran velocidad o ambas cosas.

Ejemplo.

Encontremos la cantidad de movimiento que poseían los vehículos que mencionamos anteriormente. Supongamos que la tractomula y el automóvil tengan masas de 16000 kg y 800kg respectivamente, consideremos que antes de la colisión con la barrera de contención, cada uno se desplaza a 72 km/h (20 m/s).

Por efectos de simplicidad, supondremos que los vehículos se movían en línea recta.

Para el automóvil:

$$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{v}$$

$$\|\overrightarrow{P}\| = 800kg \times 20m/s$$

$$\|\overrightarrow{P}\| = 16000kg * m/s$$

$$\|\overrightarrow{P}\| = 16000kg \times 20m/s$$
$$\|\overrightarrow{P}\| = 320000kg * m/s$$

Para la tractomula:

$$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{v}$$

Podemos apreciar claramente que la tractomula tiene mayor cantidad de movimiento que el automóvil, razón por la cual será más difícil detenerla y por consiguiente dispersará mas llantas de la barrera.

IMPULSO

Si la cantidad de movimiento de un cuerpo varía, también lo hará su velocidad, claro suponiendo que la masa sea constante. Si hay un cambio en la velocidad, significa que el cuerpo se acelera. Existe otro factor que permite variar la cantidad de movimiento y es el **tiempo** que tarda en actuar una fuerza sobre el cuerpo. El producto de esta fuerza por el tiempo que tarda en actuar sobre un cuerpo dado se le conoce como **impulso** ($\overrightarrow{I}$)**.** En efecto:

$$\overrightarrow{I} = \overrightarrow{F} \times t$$

Como ejemplos inmediatos de la relación anterior, tenemos:

i) En el juego de billar, la cantidad de movimiento que adquiere la bola depende del golpe que se le da con el taco. También observamos que tal cantidad de movimiento varía después de un choque con otra bola o con la banda de la mesa.

ii) La balística es la ciencia que define hasta dónde puede llegar un proyectil y con cuanta fuerza. En virtud de lo anterior, cuanto más largo sea el cañón de un arma mayor será su alcance, pues la fuerza propulsiva se aplicará por más tiempo, lo cual genera una variación considerable en la cantidad de movimiento del proyectil.

LA SEGUNDA LEY DE NEWTON.

Newton, en sus famosos *Principia*, expresó la segunda ley del movimiento en función de la cantidad de movimiento. Una versión moderna de la segunda ley de Newton será:

La razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo y está en la dirección de esa fuerza.

Simbólicamente se tiene:

$$\sum \overrightarrow{F} = \frac{\Delta \overrightarrow{P}}{\Delta t}$$

Sabemos que $\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{v}$, entonces:

$$\sum \overrightarrow{F} = \frac{\Delta(m \times \overrightarrow{v})}{\Delta t}$$

Al considerar una partícula aislada con masa constante, la anterior expresión se transforma en:

$$\overrightarrow{F} = \frac{m * \Delta \overrightarrow{v}}{\Delta t} = m * \frac{\Delta \overrightarrow{v}}{\Delta t}$$

Pero: $\overrightarrow{a} = \frac{\Delta \overrightarrow{v}}{\Delta t}$, al sustituir en la expresión anterior, se obtiene la popularmente conocida expresión para la segunda ley de Newton.

$$\overrightarrow{F} = m * \overrightarrow{a}$$

La segunda ley de Newton así concebida, es válida si suponemos la masa constante y se trabaja con velocidades que no superen el 10% de la velocidad de la luz.

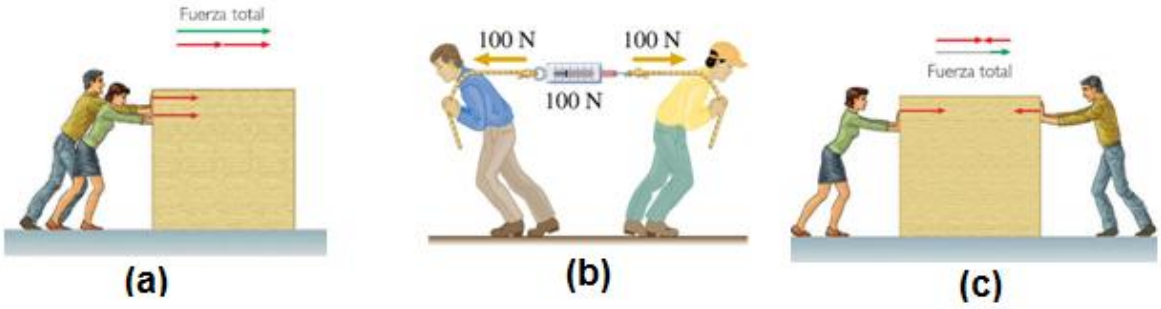
Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se puede notar el papel que desempeña la masa en esta expresión. En este caso, la masa representa la constante de proporcionalidad, la cual indica la relación que hay entre la fuerza aplicada a un cuerpo y la aceleración obtenida. En virtud de lo anterior, podremos entender porqué, cuando al vecino no le enciende el motor de su vehículo tiene que pedir nuestra ayuda para que le demos un “empujoncito” y así poder lograr mover su carrito hasta el punto que le pueda arrancar.

Recordemos que en discusiones pasadas se mencionaba que las fuerzas eran las responsables de cambiar el estado de movimiento de los cuerpos, ya sea para: acelerarlo, desacelerarlo o detenerlo. Por tanto, si la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo no es cero, éste tendrá una aceleración proporcional a la magnitud de la resultante y en dirección de ésta.

La unidad de fuerza en el *Sistema Internacional* es el ***Newton*** y se representa por **N**. Un *Newton* es la fuerza que hay que ejercer sobre un cuerpo de ***un kilogramo de masa*** para que adquiera una aceleración de ***1 m/s^2***, o sea:

$$1\ N = 1\ Kg \cdot 1\ m/s^2$$

Consideremos la siguiente ilustración:



Explicación:

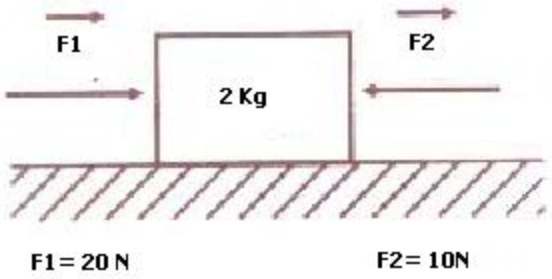
Para el caso (a), claramente podemos notar que las fuerzas ejercidas por las dos personas se suman vectorialmente, su fuerza resultante (flecha verde), produce una aceleración hacia la derecha.

Para la situación (b), se nota que las fuerzas ejercidas sobre el dinamómetro son de igual magnitud pero en sentidos contrarios, la fuerza resultante es nula, por tal motivo el dinamómetro no sufre desplazamiento aparente.

En la situación (c), las fuerzas son opuestas pero de diferente magnitud, la fuerza resultante (flecha verde) es diferente de cero y "posiblemente" el cuerpo se moverá hacia la derecha –no sabemos si la resultante logre vencer a la fuerza de rozamiento –, así que lo dejamos a su imaginación.

A continuación, trataremos algunos ejemplos tipo pruebas SABER 11.

1. Sobre un bloque de 2 Kg de masa, colocado sobre una mesa de fricción despreciable, se aplican dos fuerzas F_1 y F_2 como indica el dibujo.



El bloque se mueve con una aceleración cuyo valor es:

A. 5 $m/_s^2$
B. 10 $m/_s^2$
C. 15 $m/_s^2$
D. 20 $m/_s^2$

Solución.

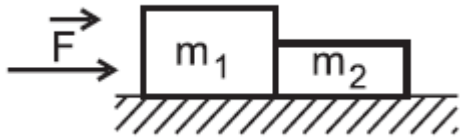
Al comparar las magnitudes de las fuerzas, se deduce que el bloque se moverá hacia la derecha, al aplicar la segunda ley de Newton se tiene:

$\overrightarrow{F} = m * \overrightarrow{a}$ despejamos la aceleración

$$\overrightarrow{a} = \frac{\overrightarrow{F}}{m}$$

$\overrightarrow{a} = \frac{(20N - 10N)}{2kg} = 5m/s^2$ hacia la derecha, **RTA: A**

2. Dos bloques están en contacto sobre una superficie sin fricción. Una fuerza $\overrightarrow{F}$ se aplica sobre uno de ellos como muestra la figura.



La aceleración del sistema vale.

A. $F(m_1 - m_2)$ C. $\frac{F}{m_1}$

B. $\frac{F}{m_2}$ D. $F/(m_1 + m_2)$

Solución.

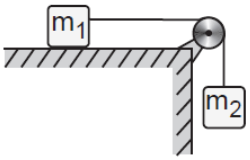
Debido a que los bloque están en contacto, se toman como un sistema cuya masa **$m = m_1 + m_2$,** al despreciar la fricción, la única fuerza horizontal presente es $\overrightarrow{F}$, al aplicar la segunda ley de Newton se tiene:

$\overrightarrow{F} = m * \overrightarrow{a}$, se despeja la aceleración y se sustituye **$m = m_1 + m_2$**, entonces;

$\overrightarrow{a} = \frac{\overrightarrow{F}}{m_1 + m_2}$, **RTA: D**

3. Dos cuerpos de masa m_1 y m_2 están conectados por una cuerda inextensible que pasa por una polea sin fricción. m_1 se encuentra sobre la superficie de una

mesa horizontal sin fricción y m_2 cuelga libremente como lo muestra la figura. Teniendo en cuenta que $m_2 = 2m_1$, la aceleración del sistema es igual a.



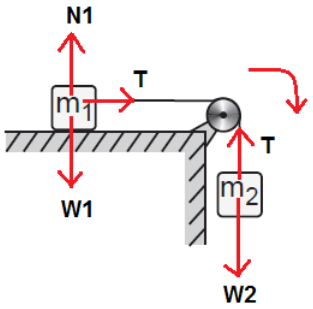
A. 2 g

B. $\frac{3}{2}$ g

C. $\frac{1}{2}$ g

D. $\frac{2}{3}$ g

Se elabora el diagrama de cuerpo libre y consideremos solo las magnitudes.



Se plantean las ecuaciones de movimiento para cada cuerpo, considerando positivas a las fuerzas que llevan el mismo sentido del movimiento. Como se trata de encontrar la aceleración del sistema, así que por resumir las operaciones, se analizan las fuerzas que producen cambio del movimiento, en efecto:

Para m_1: movimiento horizontal

$$\sum F_x = m_1 * a$$

$T = m_1 * a$ ecuación (1)

Para m_2: movimiento vertical

$$\sum F_x = m_1 * a$$

$W_2 - T = m_2 * a$ ecuación (2)

Sumando las ecuaciones (1) y (2), se elimina la tensión y encontramos la aceleración:

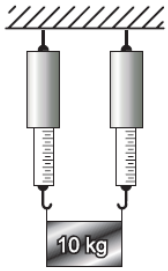
$$W_2 - T = m_2 * a$$
$$T = m_1 * a$$

$W_2 = m_2 * a + m_1 * a$, pero $W_2=m_2*g$, además: $m_2 = 2m_1$, al sustituir y organizar, tenemos

$2m_1 * g = a * (2m_1 + m_1)$, se despeja la aceleración.

$a = \frac{2m_1 * g}{3m_1} = \frac{2}{3}g$ Por lo tanto: **RTA = D**

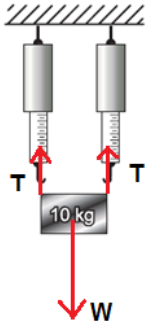
4. De dos dinamómetros iguales cuelga un cuerpo de masa 10 kg, como se muestra en la figura.



La lectura de cada dinamómetro es.

A. 50 N C. 10 N
B. 5 N D. 100 N

Se elabora el diagrama de cuerpo libre



El sistema se encuentra en equilibrio(a = 0), aplicamos la segunda ley de Newton.

$\sum F = m * a = 0 \; ; 2T - W = 0$

$T = \frac{m*g}{2} = \frac{10kg*10m/s^2}{2} = 50N$; **RTA: A**

En el transcurso de la clase, se hará un breve recorrido por el sitio Web titulado: Proyecto Newton, Perteneciente al Ministerio de Educacion del Gobierno de España, cuyo enlace es:

http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/dinamica/index.htm

La próxima sesion se dedicará exclusivamente al desarrollo de ejemplos que contengan un mayor grado de dificultad, es decir: incluyendo el rozamiento, planos inclinados, Máquina de attwod, entre otros.

Actividad complementaria

Para la proxima sesion, se recomienda que los estudiantes hagan un repaso acerca de los métodos para la solucion de sistemas de ecuaciones lineales. Ademas, deben hacer una exploracion mas detallada al Proyecto Newton.

E. Anexo: Force Concept Inventory

El Force Concept Inventory, fue el cuestionario que se utiliza como prueba diagnóstica al iniciar y finalizar la propuesta didáctica. El cuestionario en mención pretende indagar acerca del nivel de comprensión que manejan los estudiantes del concepto de fuerza y de sus aplicaciones.

INSTITUCION EDUCATIVA ESCUELA NORMAL SUPERIOR DE NEIVA
PRUEBA DIAGNOSTICA CINEMATICA Y DINAMICA

1. Dos bolas de metal tienen el mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Las dos bolas se dejan caer en el mismo instante de tiempo desde el techo de un edificio de un solo piso. El tiempo que tardan las bolas en llegar al suelo es

(A) aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la bola más liviana.

(B) aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la bola más pesada.

(C) aproximadamente el mismo para ambas bolas.

(D) considerablemente menor para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad.

(E) considerablemente menor para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad.

2. Las dos bolas de metal del problema anterior ruedan sobre una mesa horizontal con la misma velocidad y caen al suelo al llegar al borde de la mesa. En esta situación

(A) ambas bolas golpean el suelo aproximadamente a la misma distancia horizontal de la base de la mesa.
(B) la bola más pesada golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más liviana.
(C) la bola más liviana golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más pesada.
(D) la bola más pesada golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más liviana, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
(E) la bola más liviana golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más pesada, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.

3. Una piedra que se deja caer desde el techo de un edificio de un solo piso hasta la superficie de la tierra

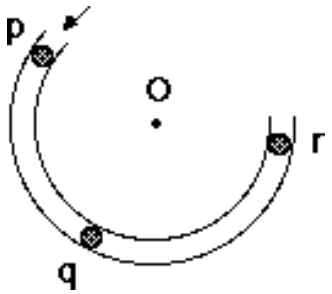
(A) alcanza un máximo de velocidad muy pronto después de ser soltada, y desde entonces cae con una velocidad constante.
(B) aumenta su velocidad mientras cae, porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la tierra.
(C) aumenta su velocidad porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.
(D) cae debido a la tendencia natural de todos los objetos a descansar sobre la superficie de la tierra.
(E) cae debido a los efectos combinados de la fuerza de la gravedad, empujándola hacia abajo, y la fuerza del aire, también empujándola hacia abajo.

4. Un camión grande choca frontalmente con un pequeño automóvil. Durante la colisión,

(A) la intensidad de la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil es mayor que la de la fuerza que el auto ejerce sobre el camión.
(B) la intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto.
(C) ninguno ejerce una fuerza sobre el otro. El auto es aplastado simplemente porque se interpone en el camino del camión.
(D) el camión ejerce una fuerza sobre el automóvil pero el auto no ejerce ninguna fuerza sobre el camión.
(E) el camión ejerce una fuerza de la misma intensidad sobre el auto que la que el auto ejerce sobre

el camión.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (5 y 6).



La figura adjunta muestra un canal sin fricción con forma de segmento circular con centro en "O". El canal se halla anclado fijo sobre la superficie horizontal de una mesa sin rozamiento. Usted está mirando la mesa desde arriba. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Una bola entra a gran velocidad hacia el interior del canal por "p" y sale por "r".

5. Considere las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por el canal y dirigida de q hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia q.

¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre la bola cuando ésta se halla dentro del canal sin fricción en la posición "q"?

(A) Sólo la 1.

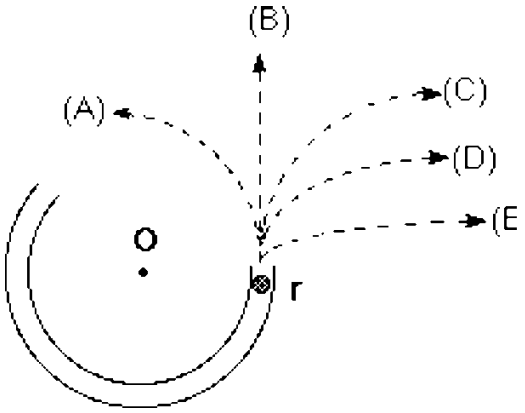
(B) 1 y 2.

(C) 1 y 3.

(D) 1, 2 y 3.

(E) 1, 3 y 4.

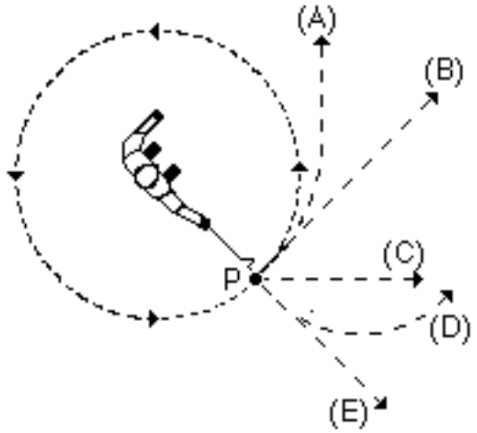
6. ¿Cuál de los caminos indicados en la figura de la derecha seguirá de forma más aproximada la bola después de salir del canal por "r", si continúa moviéndose sin rozamiento sobre la superficie de la mesa?



7. Una bola de acero está atada a una cuerda y sigue una trayectoria circular en un plano horizontal, como se muestra en la figura adjunta.

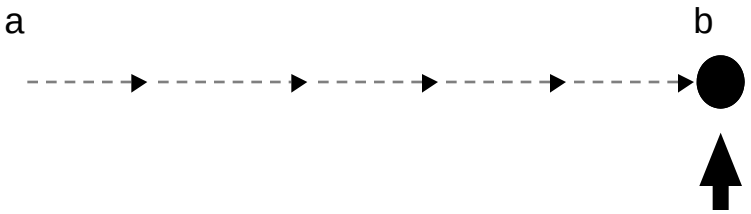
En el punto P, indicado en la figura, la cuerda se rompe de repente en un punto muy cercano a la bola.

Si estos hechos se observan directamente desde arriba, como se indica en la figura, ¿qué camino seguirá de forma más aproximada la bola tras la ruptura de la cuerda?

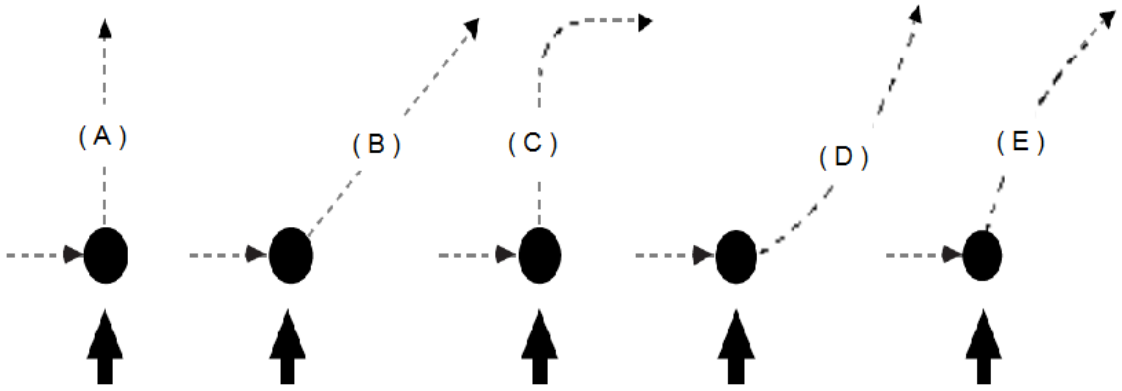


USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (8 a 11).

La figura muestra un disco de hockey desplazándose sobre el hielo sin fricción con velocidad constante v_o en línea recta desde el punto "a" al punto "b". Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Usted está mirando el disco desde arriba. Cuando el disco llega al punto "b", recibe un golpe repentino en la dirección de la flecha gruesa. Si el disco hubiera estado en reposo en el punto "b", el golpe habría puesto el disco en movimiento con una velocidad de magnitud v_k en la dirección del golpe.



8. ¿Cuál de los caminos siguientes seguirá de forma más aproximada el disco después de recibir el golpe?



9. La magnitud de la velocidad del disco inmediatamente después de recibir el golpe es

(A) igual a la magitud de la velocidad "v_o" que tenía antes de recibir el golpe.

(B) igual a la magnitud de la velocidad "v_k" resultante del golpe e independiente de la velocidad "v_o".

(C) igual a la suma aritmética de las magnitudes de las dos velocidades "v_o" y "v_k".

(D) menor en magnitud que cualquiera de las velocidades "v_o" o "v_k".

(E) mayor en magnitud que cualquiera de las velocidades "v_o" o "v_k", pero menor que la suma aritmética de las magnitudes de estas dos velocidades.

10. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la velocidad del disco después de recibir el golpe:

(A) es constante.

(B) aumenta continuamente. (C) disminuye continuamente.

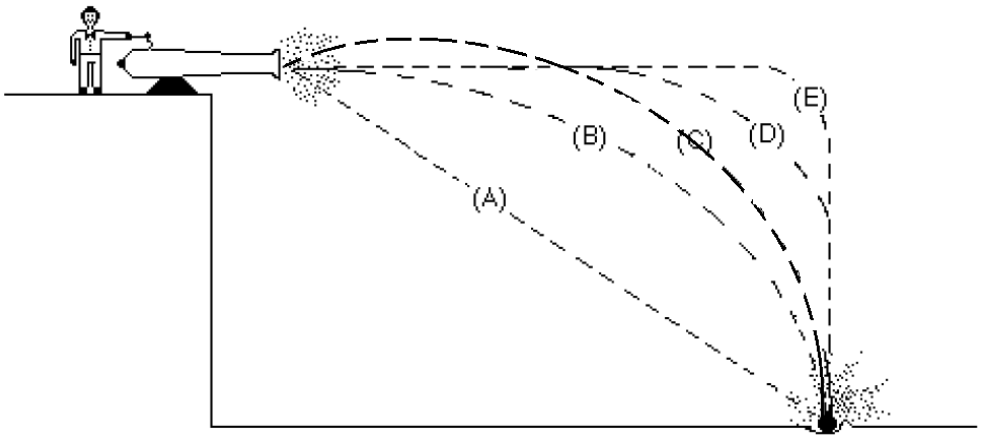
(D) aumenta durante un rato y después disminuye.

(E) es constante durante un rato y después disminuye.

11. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la(s) Fuerza(s) principal(es) que actúa(n) sobre el disco después de recibir el golpe es (son)

(A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
(B) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
(C) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
(D) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie.
(E) ninguna. (No actúa ninguna fuerza sobre el disco).

12. Con un cañón se dispara una bola desde el filo de un barranco como se muestra en la figura adjunta. ¿Cuál de los caminos seguirá de forma más aproximada dicha bola?



13. Una niña lanza hacia arriba una bola de acero. Considere el movimiento de la bola durante el intervalo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano de la niña hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Suponga que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):

(A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.

(B) una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano de la niña hasta que alcanza su punto más alto; en el camino de descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.

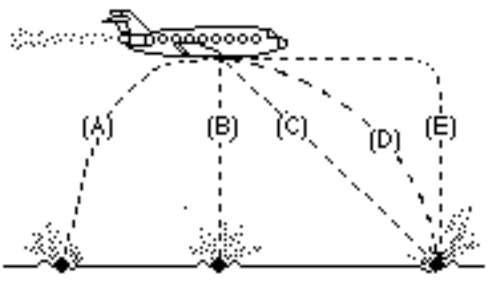
(C) una fuerza hacia abajo prácticamente constante, debida a la gravedad, junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto; en el camino de descenso sólo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.

(D) sólo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad, que es la misma en todo el recorrido.

(E) ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

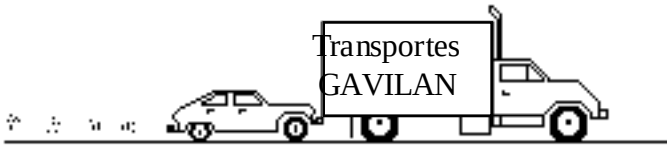
14. Una bola se escapa accidentalmente de la bodega de carga de un avión que vuela en una dirección horizontal.

Tal como lo observaría una persona de pie sobre el suelo que ve el avión como se muestra en la figura de la derecha, ¿qué camino seguiría de forma más aproximada dicha bola tras caer del avión?



USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (15 y 16).

Un camión grande se avería en la carretera y un automóvil pequeño lo empuja de regreso a la ciudad, tal como se muestra en la figura adjunta.



15. Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de marcha,

(A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

(B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

(C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

(D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

(E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

16. Después de que el automóvil alcanza la velocidad constante de marcha a la que el conductor quiere empujar el camión,

(A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

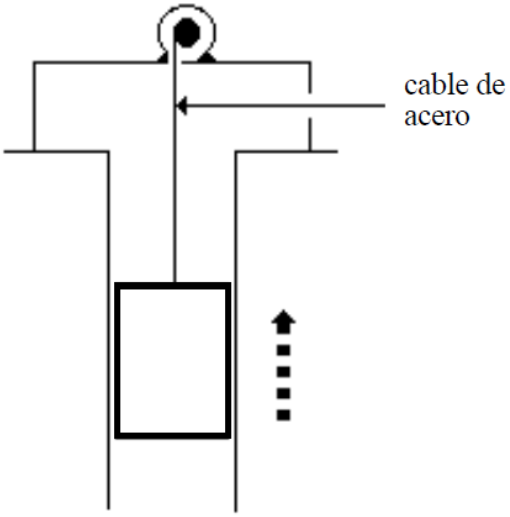
(B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

(C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

(D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

(E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

17. Un ascensor sube por su hueco a velocidad constante por medio de un cable de acero tal como se muestra en la figura adjunta. Todos los efectos debidos a la fricción son despreciables. En esta situación, las fuerzas que actúan sobre el ascensor son tales que:



Ascensor a velocidad constante

(A) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.

(B) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es igual a la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.

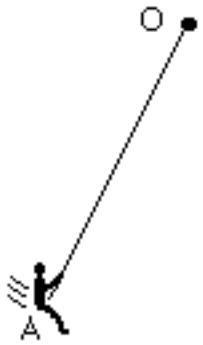
(C) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es menor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.

(D) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la suma de la fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia abajo debida al aire.

(E) ninguna de las anteriores. (El ascensor sube porque el cable se está acortando, no porque el cable ejerza una fuerza hacia arriba sobre el ascensor).

18. La figura adjunta muestra a un niño columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento del niño.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia A.



¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

(A) sólo la 1.

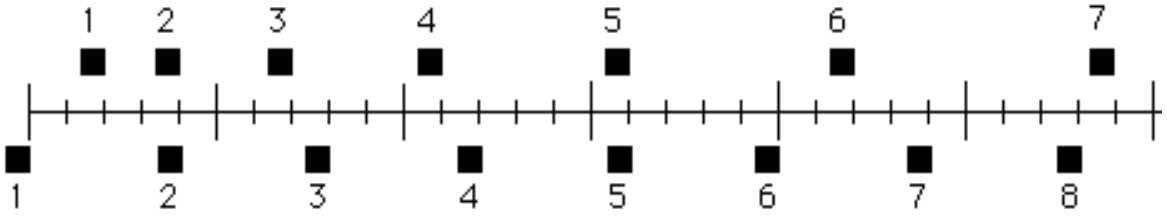
(B) 1 y 2.

(C) 1 y 3.

(D) 1, 2 y 3.

(E) 1, 3 y 4.

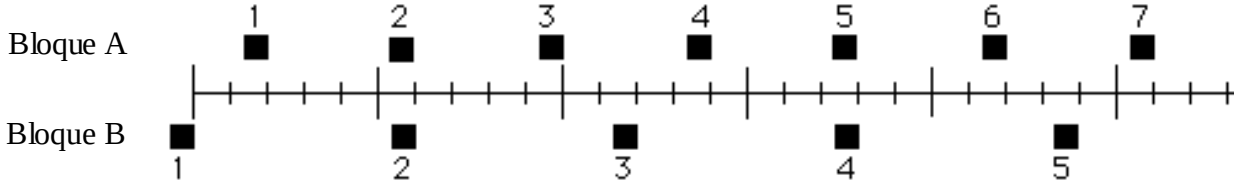
19. Las posiciones de dos bloques en intervalos de tiempo sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.



¿Tienen los bloques en algún momento la misma velocidad?

(A) no.
(B) sí, en el instante 2.
(C sí, en el instante 5.
(D) sí, en los instantes 2 y 5.
(E) sí, en algún momento durante el intervalo de 3 a 4.

20. Las posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.

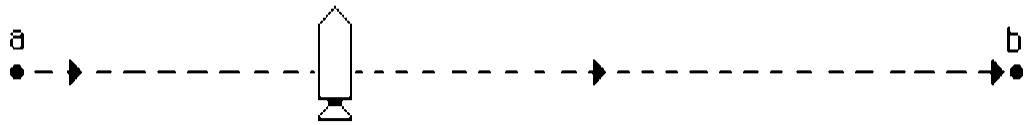


Las aceleraciones de los bloques están relacionadas de la forma siguiente:

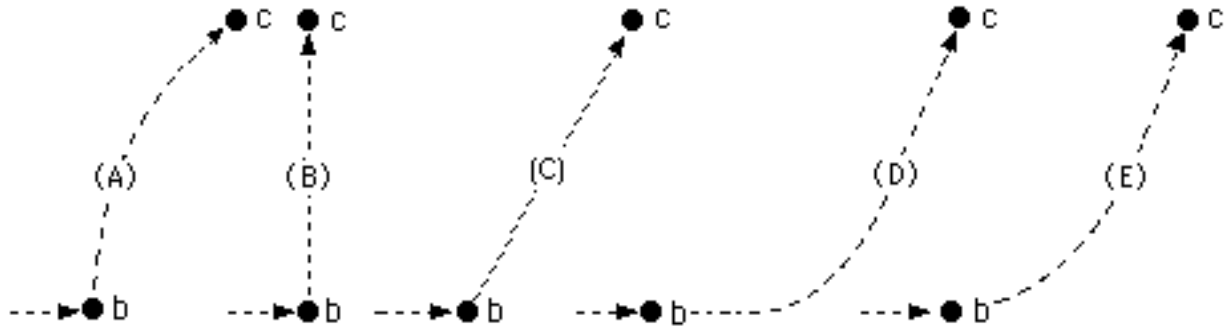
(A) la aceleración de "a" es mayor que la aceleración de "b".
(B) la aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son mayores que cero.
(C) la aceleración de "b" es mayor que la aceleración de "a".
(D) la aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son cero.
(E) no se da suficiente información para contestar la pregunta.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (21 a 24).

Un cohete flota a la deriva en el espacio exterior desde el punto "a" hasta el punto "b", como se muestra en la figura adjunta. El cohete no está sujeto a la acción de ninguna fuerza externa. En la posición "b", el motor del cohete se enciende y produce un empuje constante (fuerza sobre el cohete) en un ángulo recto con respecto a la línea "ab". El empuje constante se mantiene hasta que el cohete alcanza un punto "c" en el espacio.



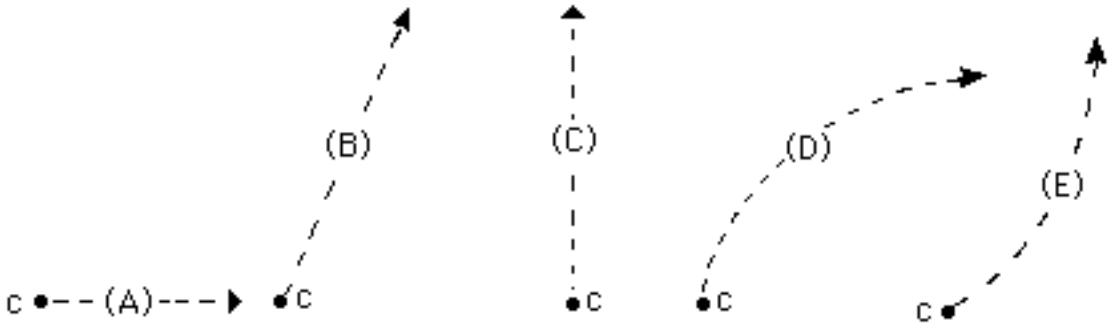
21. ¿Cuál de los siguientes caminos representa mejor la trayectoria del cohete entre los puntos "b" y "c"?



22. Mientras el cohete se mueve desde la posición "b" hasta la posición "c", la magnitud de su velocidad es

(A) constante.
(B) continuamente creciente.
(C) continuamente decreciente.
(D) creciente durante un rato y después constante.
(E) constante durante un rato y después decreciente.

23. En el punto "c" el motor del cohete se para y el empuje se anula inmediatamente. ¿Cuál de los siguientes caminos seguirá el cohete después del punto "c"?



24. A partir de la posición "c" la velocidad del cohete es

(A) constante.
(B) continuamente creciente.
(C) continuamente decreciente.
(D) creciente durante un rato y después constante.
(E) constante durante un rato y después decreciente.

25. Una mujer ejerce una fuerza horizontal constante sobre una caja grande. Como resultado, la caja se mueve sobre un piso horizontal a velocidad constante "v_o". La fuerza horizontal constante aplicada por la mujer

(A) tiene la misma magnitud que el peso de la caja.
(B) es mayor que el peso de la caja.
(C) tiene la misma magnitud que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
(D) es mayor que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
(E) es mayor que el peso de la caja y también que la fuerza total que se opone a su movimiento.

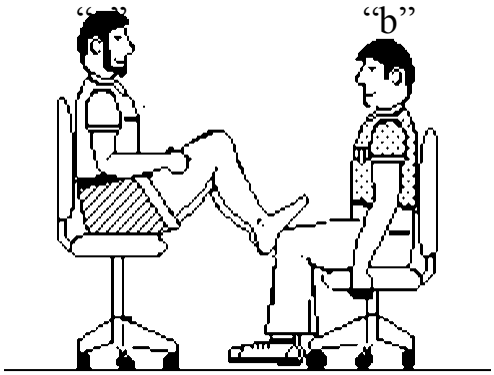
26. Si la mujer de la pregunta anterior duplica la fuerza horizontal constante que ejerce sobre la caja para empujarla sobre el mismo piso horizontal, la caja se moverá

(A) con una velocidad constante que es el doble de la velocidad "v_o" de la pregunta anterior.
(B) con una velocidad constante que es mayor que la velocidad "v_o" de la pregunta anterior, pero no necesariamente el doble.
(C) con una velocidad que es constante y mayor que la velocidad "v_o" de la pregunta anterior durante un rato, y después con una velocidad que aumenta progresivamente.
(D) con una velocidad creciente durante un rato, y después con una velocidad constante.
(E) con una velocidad continuamente creciente.

27. Si la mujer de la pregunta 25 deja de aplicar de repente la fuerza horizontal sobre la caja, ésta

(A) se parará inmediatamente.
(B) continuará moviéndose a una velocidad constante durante un rato y después frenará hasta pararse.
(C) comenzará inmediatamente a frenar hasta pararse.
(D) continuará a velocidad constante.
(E) aumentará su velocidad durante un rato y después comenzará a frenar hasta pararse.

28. En la figura adjunta, el estudiante "a" tiene una masa de 95 Kg y el estudiante "b" tiene una masa de 77 Kg. Ambos se sientan en idénticas sillas de oficina cara a cara.



El estudiante "a" coloca sus pies descalzos sobre las rodillas del estudiante "b", tal como se muestra. Después el estudiante "a" empuja súbitamente con sus pies hacia adelante, haciendo que ambas sillas se muevan.

Durante el empuje, mientras los estudiantes están aún en contacto:

(A) ninguno de los estudiantes ejerce una fuerza sobre el otro.

(B) el estudiante "a" ejerce una fuerza sobre el estudiante "b", pero "b" no ejerce ninguna fuerza sobre "a".

(C) ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "b" ejerce una fuerza mayor.

(D) ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "a" ejerce una fuerza mayor.

(E) ambos estudiantes ejercen la misma cantidad de fuerza sobre el otro.

29. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo. Considere las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo.
3. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de oficina?

(A) solo la 1.
(B) 1 y 2.
(C) 2 y 3.
(D) 1, 2 y 3.
(E) ninguna de las fuerzas. (Puesto que la silla está en reposo no hay ninguna fuerza actuando sobre ella).

30. A pesar de que hace un viento muy fuerte, una tenista consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de modo que la pelota pasa por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente. Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por el golpe.
3. Una fuerza ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota, después de que ésta deja de estar en contacto con la raqueta y antes de que toque el suelo?

(A) Solo la 1.
(B) 1 y 2.
(C) 1 y 3
(D) 2 y 3
(E) 1, 2 y 3