UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Enseñanza de la Física (Cinemática y ley de la inercia) a partir de las concepciones de Galileo Galilei, para estudiantes de grado décimo.

Luis Alejandro González Sánchez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

2012

Enseñanza de la Física (Cinemática y ley de la inercia) a partir de las concepciones de Galileo Galilei, para estudiantes de grado décimo.

Luis Alejandro González Sánchez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

Carlos Augusto Hernández Rodríguez

Docente Investigador Universidad Nacional de Colombia

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

2012

En mi pasado Tutti, fue y aun es una parte muy importante; ahora mi futuro es llevado por ti en el vientre. Eres mi presente, y no solo has logrado unir las etapas de mi vida, sino que a partir de un día veintiuno unimos también a dos familias. Gracias a ti, a Tutti y a cada uno de los que pertenecen a estas dos familias incluyendo bebé, porque han puesto de su parte para que yo haya logrado esto, y por ello a todos ustedes dedico este trabajo.

La ciencia galileana, la ciencia cartesiana, ha vencido. Pero nunca una victoria se pagó tan cara.

Alexandre Koyré, Estudios Galileanos.

Agradecimientos

En primer lugar a Dios por permitirme, pertenecer a esta Universidad y el tener esta oportunidad de estudiar y estar aquí, que sé que me será de provecho en mi futuro. Agradezco, a cada uno de los docentes de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Naturales y Exactas, con los que he tenido la oportunidad de compartir y aprender de ellos y que han permitido que esta maestría continúe educando a educadores. Y muy especialmente, a mi maestro Carlos Augusto Hernández Rodríguez, director de este trabajo, a quien he tenido la oportunidad de conocer hace algunos años, y que se ha convertido en un ejemplo y modelo para mi labor docente. Gracias maestro, por su comprensión y apoyo y todo lo que ha logrado enseñarme. Como agradecimiento póstumo, gracias al profesor José Granés Sellares (QEPD), quien fuese maestro de mi maestro, y que, junto con Isabel Garzón y Ma. Mercedes Ayala (UPN), son los que me tienen hoy, filosofando sobre la naturaleza tal y como lo hiciesen Newton y Galileo.

Quiero agradecer también a mi esposa Sandra Julieth, por los valiosos aportes hechos a este trabajo, además de su constante apoyo y comprensión. Finalmente, quiero agradecer a mis compañeros Hans, Edith y Arroyo por los momentos compartidos durante la maestría. Y que este camino en que hemos estado juntos, nos permita seguir adelante y compartir muchas cosas más.

Resumen

La propuesta didáctica de este trabajo muestra una perspectiva diferente a la forma tradicional en que se enseña cinemática, que en nuestro contexto es tan operativa y tan poco significativa para los alumnos de grado décimo. Por ello, nos remitimos al creador de ésta, Galileo Galilei, para ver en sus concepciones elementos para lograr una mejor conceptualización por parte de los estudiantes. Y luego, ver la inercia galileana, como un concepto importante dentro de la mecánica. Dicha propuesta, será complementada con animaciones multimedia, como estrategia didáctica para que los estudiantes argumenten y sean críticos de su conocimiento, adoptando una forma dialéctica. Las matemáticas son la clave para entender la naturaleza, pero se busca que los estudiantes puedan vivir de alguna manera dicha idea.

Palabras Clave: Galileo, movimiento, inercia, dialéctica, multimedia.

Abstract

The methodological approach of this work shows a different perspective to the traditional way it is taught kinematics, which in our context is as little as operational and meaningful for students in grade ten. Therefore, we refer to the creator of this, Galileo Galilei, to see in their conceptions elements to achieve a better conceptualization of the kinematics by students. And then see the Galilean inertia as an important concept in mechanics. This proposal will be complemented with multimedia animations, as a teaching strategy for students to argue and be critical of his knowledge, adopting a dialectical form. Mathematics is the key to understanding nature, but is looking for students to live somehow the idea.

Keywords: Galileo, motion, inertia, dialectic, multimedia.

Contenido

Pág.
Resumen…… VI
Abstract..…… VII
Lista de Figuras.....IX
Lista de Tablas. X
Introducción……..1
1. Referentes históricos y epistemológicos. 5
1.1. La Escuela Parisiense del siglo XVI y la teoría del Impetus de Jean Buridan. 5
1.2. Nicolás de Oresme: la cuantificación y geometrización de las cualidades. 12
1.3. El brillante Arquímedes 16
1.4. El Copernicanismo 17
2. Componente disciplinar. 20
2.1. El sistema axiomático-deductivo de la cinemática galileana 20
2.2. Jornada II: Diálogos sobre los dos sistemás máximos del mundo ... 24
3. Componente didáctico 29
3.1. La Dialéctica de Platón 30
3.1.1. Galileo y la dialéctica 31
3.2. El estudio de la naturaleza y la epistemología de Galileo Galilei 33
3.3. Lineamientos del Ministerio de Educación Nacional, modelos de enseñanza de las ciencias naturales y la multimedia 36
3.3.1. Lineamientos curriculares 36
3.3.2. Modelos de enseñanza de las ciencias naturales 37
4. Los recursos multimedia..... 40
5. Propuesta didáctica 42
6. Resultados..... 51
6.1. Análisis previo de los estudiantes de grado décimo 51
6.2. Análisis prueba (Test) aplicado a los estudiantes..... 59
7. Conclusiones y recomendaciones 72
8. Bibliografía 75
9. Anexo A: Manual del docente de la unidad didáctica..... 77
10. Anexo B: Pre-Guías aplicadas a los estudiantes de Décimo 113
11. Anexo C: Prueba o test aplicado a los estudiantes (Décimo y Once).... 122
12. Anexo D: Guías de Sesión para los estudiantes..... 126
13. Anexo E: Experiencia en el Colegio I.E.D Colombia Viva - GRADO 1002..... 150
14. Anexo F: Complemento material multimedia. CD-ROM..... 160

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1: El cosmos de Aristóteles..... 8
Figura 1-2: Representación de una cualidad creciente. 14
Figura 1-3: Representación del teorema del grado medio para las cualidades. 15
Figura 1-4: Los cuatro satélites de Júpiter vistos por Galileo. 19
Figura 1-5: El mundo copernicano según Galileo 19
Figura 2-1: Teorema 1 21
Figura 2-2: Teorema 2. 23
Figura 2-3: Simplicio, Sagredo y Salviati..... 24
Figura 3-1: Clasificación de los modelos..... 38
Figura 4-1: Lectura “Diálogo en un Tren”. 43
Figura 4-2: Presentación Galileo Galilei-Movimiento..... 44
Figura 4-3: Apartados del documental “Mas por menos: el lenguaje de las gráficas” 46
Figura 4-4: Presentación El movimiento acelerado 47
Figura 4-5: Animación El experimento del plano..... 49
Figura 4-6: Animación El experimento de la nave..... 50
Figura 4-7: Apartados del video “Galileo el arte de la ciencia. Capítilo 1: El Telescopio”……..... 50

Lista de tablas

Pág.

Tabla 5-1: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (I) 52
Tabla 5-2: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (II) 52
Tabla 5-3: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (III) 53
Tabla 5-4: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (I) 54
Tabla 5-5: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (II) 55
Tabla 5-6: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (III) 56
Tabla 5-7: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (IV) 56
Tabla 5-8: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (V) 57
Tabla 5-9: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (VI) 57
Tabla 5-10: Concepciones de los estudiantes respecto a la fuerza y la inercia 58
Tabla 5-11: Respuestas de la Pregunta 1 60
Tabla 5-12: Respuestas de la Pregunta 2 61
Tabla 5-13: Respuestas de la Pregunta 3 62
Tabla 5-14: Respuestas de la Pregunta 4 63
Tabla 5-15: Respuestas de la Pregunta 5 64
Tabla 5-16: Respuestas de la Pregunta 6 65
Tabla 5-17: Respuestas de la Pregunta 7 66
Tabla 5-18: Respuestas de la Pregunta 8 67
Tabla 5-19: Respuestas de la Pregunta 9 68
Tabla 5-20: Respuestas de la Pregunta 10 69
Tabla 5-21: Respuestas de la Pregunta 11 70
Tabla 5-22: Respuestas de la Pregunta 12 71

Introducción

Estamos en pleno siglo XVI y Europa arde en disputas teológico-políticas pues un monje alemán llamado Martín Lutero había alborotado los cimientos de la iglesia y fundado un nuevo movimiento llamado el protestantismo, cuyos seguidores eran perseguidos por la Santa Inquisición. El movimiento pasaría luego a Francia y Suiza siendo fortalecido por un teólogo francés llamado Jean Calvino, quien fundó una corriente derivada del protestantismo que se conoce como calvinismo; ésta permitió extender el movimiento por el centro y el norte del viejo continente.

Mientas tanto en 1564, año en que muere Calvino (y también el artista Miguel Ángel Buonarroti) al sur de Europa, nace un domingo 15 de Febrero en Pisa Italia, Galileo Galilei. Era el primogénito de Vicenzo Galilei y Julia Ammannati. Aunque su padre era músico por vocación, los Galilei se ganaban la vida gracias al comercio. Galileo fue educado por sus padres hasta los diez años de edad, ya que ellos se mudaron a Florencia dejando al pequeño a cargo del religioso Jacobo Borghini; quien consiguió que ingresara al monasterio de Santa María di Vallombrosa. Sin embargo, en 1581, su padre logró matricular a Galileo como estudiante de medicina en la Universidad de Pisa. Pero en 1585, abandonó los estudios universitarios sin obtener ningún título, aunque sí había adquirido gusto por la filosofía, la literatura y ante todo las matemáticas.

De esta forma Galileo, empezó a hacer una vida propia. En 1589 consiguió una plaza, mal remunerada como profesor en Pisa. Allí escribió un texto sobre el movimiento, que mantuvo inédito, en el cual criticaba los puntos de vista de Aristóteles acerca de la caída libre de los graves y el movimiento de los proyectiles. En 1592 pasó a ocupar una cátedra de matemáticas en Padua e inició un fructífero período de su vida científica; se ocupó de arquitectura militar y de topografía, realizó diversas invenciones mecánicas, reemprendió sus estudios sobre el movimiento y descubrió el isocronismo del péndulo (aunque no como relata la historia en el Duomo); además se unió a la joven veneciana, Marina Gamba, de quien se separó en 1610 tras haber tenido con ella dos hijas y un hijo.

Sin embargo, en 1609 estando en Venecia ocurrió algo que cambió el rumbo de su vida. Tuvo noticia de la fabricación de un anteojo promocionado por un holandés en Padua, a

cuyo perfeccionamiento se dedicó. Este anteojo, al cual se le colocó después el nombre de telescopio, le permitió a Galileo descubrir cosas que sólo podían explicarse si se aceptaban las ideas heliocéntricas de Copérnico. De este modo adquirió prestigio, es confirmado de por vida en su puesto de Padua y se convirtió en miembro de la corte del duque de Toscana como filósofo y matemático ilustre. Y en el año 1623, convencido del apoyo del recién nombrado Papa (que era amigo suyo) expuso sus criterios metodológicos y, en particular, su concepción de las matemáticas como lenguaje de la naturaleza. La benévola acogida del libro por parte del pontífice, lo animó a completar la gran obra con la que pretendía poner punto final a la controversia sobre los sistemas astronómicos, y en 1632 apareció, finalmente, sus **Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo.** Sin embargo, el Santo Oficio abrió un proceso a Galileo que terminó con su condena a prisión perpetua, pena suavizada al permitírsele que la cumpliera en su villa de Arcetri. Allí transcurrieron los últimos años de su vida, ensombrecidos por la muerte de su hija (Virginia), por la ceguera y por una salud cada vez más quebrantada. Con todo, consiguió acabar la última de sus obras, los **Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias**, donde demostró las leyes de caída de los cuerpos en el vacío, la resistencia de materiales y el movimiento de los proyectiles. El análisis Galileano del movimiento sentó las bases físicas y matemáticas sobre las que los científicos de la siguiente generación edificaron la física mecánica. Finalmente, el 8 de enero de 1642, Galileo muere en Arcetri a la edad de 77 años. Su cuerpo es inhumado en Florencia el 9 de enero. Un mausoleo sería erigido en su honor el 13 de marzo de 1736 en la iglesia de la Santa Cruz de Florencia. Para la posteridad, el aeropuerto de Pisa, su lugar natal, lleva su nombre en su honor al igual que el sistema de navegación europeo vía satélite[1]. Para la posteridad, el aeropuerto de Pisa, su lugar natal, lleva su nombre en su honor al igual que el sistema de navegación europeo vía satélite . Igualmente se recuerda que el Papa Juan Pablo II reconoció en 1992, el error que la Inquisición cometió al condenar a Galileo cerca de 300 años atrás y anunció públicamente la revocación de dicha condena.

La vida de Galileo, brevemente resumida en la parte anterior, ha sido motivo de orgullo para la física contemporánea e, independientemente de aquellos errores que en vida pudiese haber cometido, se convirtió en un destacado hombre en el ámbito universitario, a pesar de no obtener ningún título como tal, consolidándose como una referencia fundamental en el Renacimiento y clave para el futuro desarrollo científico y tecnológico de la humanidad. Por ello, su trabajo es lo suficientemente valioso para considerar hacer una propuesta de enseñanza de la física a jóvenes de educación básica media como sigue.

Galileo tuvo muchas habilidades, tales como la facultad de interpretar el laúd (herencia paterna) o una extraordinaria habilidad técnica para manipular y construir elementos y dispositivos (el termoscopio, el compás geométrico-militar, la bilancetta, el telescopio entre muchos otros son prueba de ello). Sin embargo, usando la famosa frase “Sobre hombros de Gigantes”[2], tenemos que decir que el conocimiento adquirido en vida por este científico italiano no hubiese sido posible si no estuviese apoyado en concepciones que otros hicieron antes de él. Con base en ellas es que muchos le reconocen como “El Padre de la Física Moderna” y logró estructurar la cinemática y la idea de la ley de la

[1] Tomado de http://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/galileo.htm en diciembre de 2011

[2] Esta frase fue usada por Isaac Newton para referirse al mismo Galileo y a Copérnico, aunque ya había sido usada en el siglo XII por Bernardo de Chartes.

Inercia. A propósito de la propuesta de este trabajo, clasificaremos algunas de estas concepciones, como aspectos históricos-epistemológicos, disciplinares y didácticos.

Galileo conocía el trabajo de Jean Buridán sobre el ímpetus asimismo como las contribuciones de Nicolás de Oresme a la geometrización y cuantificación de las cualidades. También era un profundo admirador del físico y matemático griego Arquímedes de Siracusa y gracias a los descubrimientos hechos con el telescopio se mostró defensor de las tesis de Nicolás Copérnico. Los referentes históricos y epistemológicos de la propuesta están compuestos por dichas concepciones.

La concepción matemática que tenía de la naturaleza, le permitió estructurar la física cinemática como un conjunto de definiciones, axiomas, postulados y teoremas análogamente a como lo hizo el antiguo matemático Euclides con la geometría. Alternativamente, el exponer sus ideas en forma de diálogo le permite complementar aquello que no podía catalogar dentro de la estructura anterior; así por ejemplo, conseguía explicar el principio de inercia. Tales concepciones serán clasificadas como componentes disciplinares.

Finalmente, Galileo usó la dialéctica del antiguo filósofo Platón como principal estrategia didáctica para comunicar sus ideas. A la par, interpreta de una nueva forma la naturaleza, muy diferente a la de los eruditos de su tiempo, incorporando al experimento como una manera de verificar la matemática previamente aplicada a ésta; dicho método se le llama apriorístico. Ubicaremos estas concepciones como el componente didáctico de la propuesta.

Las anteriores concepciones tienen la gran virtud de haber estado presentes en este ilustre filósofo y matemático de la corte del duque de Toscana. Sin embargo, cuando analizamos la manera en que hoy en día se enseña la cinemática, vemos que el interés se centra en memorizar y resolver fórmulas dando poca relevancia a los conceptos; esto genera muchas dificultades en la interpretación de situaciones cinemáticas. Con este fin, la propuesta ha sido estructurada como una alternativa en la enseñanza de la cinemática a la que agregaremos la ley de la inercia galileana. La misma está dirigida a estudiantes de grado décimo que es el momento cuando adquieren este tipo de conocimientos.

Justamente para involucrarnos en el contexto de los estudiantes de este nivel, se aplicaron dos Pre-Guías, para conocer las ideas previas que tienen respecto al movimiento. Con ello, podremos orientar mejor nuestra propuesta con el fin de obtener mejores resultados.

Hay tres aspectos importantes en el estudio del movimiento en Galileo: su análisis sobre la variación de la velocidad y la distancia en un movimiento uniformemente acelerado, la interpretación que hizo de éstos a partir de un lenguaje gráfico y la defensa que hizo en contra del geocentrismo a partir de sus hallazgos sobre el movimiento. Haremos seguimiento a estos tres aspectos junto con aquellos que hayamos encontrado en las ideas previas de los estudiantes para estructurar esta propuesta.

Para lograr esto haremos uso de dos recursos: en primer lugar, la dialéctica la cual es muy utilizada en la filosofía y en el arte teatral. Sin embargo, Galileo revela conocimientos científicos a través de sus principales obras en forma de diálogo. Por esta razón, utilizaremos este medio con el fin de que los estudiantes asimilen mejor los

conceptos sobre la cinemática y la ley de la inercia; éstos en última son importantes para la comprensión de las demás ramas de la física.

El segundo recurso es la lúdica impregnada en recursos multimedia como las imágenes, las animaciones y el video, que hacen parte de lo que en la educación de hoy llamamos TIC's, es por esta razón que los estudiantes están familiarizados y el uso de éstos hace más sencilla la labor docente en el aprendizaje de la cinemática y la ley de la inercia.

El enfoque del movimiento trazado por Galileo es acorde con el enfoque apriorístico trazado en los lineamientos curriculares del Ministerio de Educación Nacional de Física en Colombia y con lo cual procederemos a desarrollar la propuesta planteada.

1. Referentes históricos y epistemológicos

En esta parte, desarrollamos los cuatro aspectos de tipo histórico y epistemológico, los cuales son los siguientes

- ✓ Galileo conocía el trabajo de Jean Buridan y su teoría sobre el ímpetus la cual permitía explicar el movimiento de los cuerpos de una forma diferente a la aristotélica. El ímpetus además, permitía explicar el movimiento de los cuerpos, inclusive cuando estos no estuviesen siendo empujados (no existe un motor).
- ✓ También conocía el trabajo de Nicolás Oresme (discípulo de Buridán), que representaba mediante una figura las intensidades de una cualidad de magnitud continua que depende de otra magnitud análoga; estas intensidades estaban representadas por segmentos desde una perspectiva geométrica.
- ✓ Es un absoluto admirador del trabajo del matemático y físico griego Arquímedes (287- 212 a.C.). En particular, creyó que el principio arquimediano del equilibrio de la palanca era la clave para comprender muchas de sus invenciones y descubrimientos. Galileo se convence de que en los números y la geometría están las claves para comprender la naturaleza y cree que el precursor de todo esto era el gran Arquímedes.
- ✓ Después de los descubrimientos hechos con el telescopio que él mismo inventó, se nos muestra como un convencido copernicano y defensor del movimiento terrestre.

1.1 La Escuela Parisiense del siglo XIV y la teoría del Ímpetus de Jean Buridán

La comprensión del movimiento de los cuerpos, tuvo varias interpretaciones antes de llegar a la manera como se concibe en la actualidad. Particularmente, según Leopoldo Prieto López:

"La historia del pensamiento físico, desde Aristóteles a Newton, se nos presenta en líneas generales en tres grandes etapas. La primera etapa es la física aristotélica, una física carente de formalización matemática, caracterizada por el empleo de tres principios fundamentales: el lugar natural, el movimiento natural (entendido como el proceso encaminado al reposo) y el rechazo del vacío. La segunda etapa está constituida por la física del ímpetus, una física que, a pesar de ser de origen griego, fue elaborada sobre todo en el siglo XIV en la escuela de París por Jean Buridán (…) Este segundo tipo de física investiga la causa del movimiento por medio del concepto de fuerza impresa, al que se da principalmente el nombre de ímpetus. Finalmente, la tercera etapa es la física matematizada, fundada en el método de la nueva ciencia experimental, ideado por Galileo, Descartes y Newton". (Prieto, 2009)

En esta parte se hará énfasis en la segunda de estas etapas (la del ímpetus) y todo el trabajo desarrollado por la Escuela Parisiense del siglo XIV, cuyo principal representante es Jean Buridán como se acaba de mencionar. Sin embargo, junto a él se destacan sus discípulos Nicolás de Oresme y Alberto de Sajonia. Además la obra de Buridán fue una continuación del trabajo hecho en la escuela de Oxford (Merton College) en Inglaterra, donde encontramos a Guillermo de Ockham y Walter Burleigh, quienes fueron maestros de Buridán.

El físico y filósofo Pierre Duhen (1861-1916), en su libro *Estudios sobre Leonardo da Vinci,* pone de manifiesto el conocimiento del siglo XIV y en particular de la escuela parisiense mencionando lo siguiente:

"Si se hubiera de asignar una fecha precisa al nacimiento de la ciencia moderna, se debería elegir el año 1277, momento en el que el arzobispo de París (Etienne Tempier) condenó solemnemente tesis como las siguientes: «La Causa primera no puede crear varios mundos» (34 [27]); «Dios no puede mover el cielo con un movimiento de traslación; la razón de ello es que el cielo dejaría un vacío» (49 [66])[3]*.* Tales argumentos estaban en contra de la idea de Aristóteles que, no admitía de ningún modo el vacío. En efecto, la primera de estas condenas hacía inútil todo lo que los seguidores de Aristóteles habían enseñado sobre la imposibilidad de las dimensiones infinitas, tanto en acto como en potencia, y obligaba a los autores medievales a revisar la *teoría del infinito*. La segunda condena revolucionaba la doctrina aristotélica del lugar y del movimiento local, abriendo las puertas a la *doctrina del vacío*. De hecho, las condenas del arzobispo Tempier obligaron a los maestros parisienses en artes a fundar sobre nuevas bases, la filosofía del lugar y del movimiento local. Además, posibilitaban un nuevo acercamiento a un concepto de movimiento, más en consonancia con las ideas antiaristotélicas entonces en boga, que conducirá posteriormente al concepto de *ímpetus* como *cualidad impresa* en el móvil que perdura en su movimiento de traslación". (Prieto, 2009)

Según Etienne Gilson[4], las razones de la intervención del obispo de París estaban fundadas en motivos de naturaleza teológica (no científica ni filosófica), protegiendo la doctrina de la fe a propósito de la omnipotencia divina. Pero su efecto fue obligar a los teólogos y filósofos a estimar como posibles, en virtud de la omnipotencia divina del Dios cristiano, posiciones filosóficas y científicas tradicionalmente juzgadas absurdas de acuerdo a la naturaleza misma de las cosas, particularmente la existencia de magnitudes infinitas (actuales o potenciales) y la posibilidad de un movimiento de traslación sin lugar (o en el espacio vacío). El problema que se insinuaba tras las famosas condenas de 1277, como se puede ver, era la correcta relación entre fe y razón (o entre teología y filosofía), mucho más que la relación entre razón y ciencia. Apelando a la omnipotencia divina, los ánimos se sentían liberados del marco de necesidad y de finitud dentro del cual el pensamiento griego (y en particular, el aristotélico) había considerado las cuestiones cosmológicas. Así, en virtud de este principio teológico, se formularon muchas hipótesis que contrastaban con la doctrina cosmológica tradicional, algunas de las cuales

[3] En los números de las tesis condenadas, el primero indica el lugar que ocupa la proposición respectiva en el decreto de Etienne Tempier; el segundo, puesto entre corchetes, indica el orden de dicha proposición en la clasificación de R.P. Mandonnet.
[4] Etenne Gilson (1884-1978) Historiador y Filósofo Francés

fueron posteriormente retomadas en el momento mismo del nacimiento de la ciencia moderna. Por tanto, Gilson considera una exageración la afirmación de Pierre Duhem sobre el nacimiento de la ciencia moderna en 1277, pero sí cree que hay que salvar dos aspectos verdaderos contenidos en ella:

1) La teología cristiana facilitó la apertura de nuevas perspectivas para la ciencia.
2) Si en 1277 no nació la ciencia moderna, al menos es la fecha en que se hizo posible en el ámbito cristiano el nacimiento de algunas nuevas cosmologías, más cercanas a la moderna[5].

Con estas ideas podremos vislumbrar el entorno de París previo a la vida de Jean Buridán. Sin embargo, para comprender el trabajo de este último es necesario entender el movimiento en Aristóteles, ya que justamente es lo que viene a reformular Buridán con el ímpetus[6]. Pues bien, para Aristóteles el movimiento es una consecuencia de la naturaleza de los cuerpos, la cual a su vez procede de los elementos que la componen. Los griegos admiten que los cuerpos se componen de cuatro elementos básicos: tierra, agua, aire y fuego. Ahora bien, dependiendo de la proporción en que dichos elementos estén dentro de los cuerpos, solo es posible concebir dos tipos de movimientos: los descendentes y los ascendentes teniendo ambos tipos de movimientos una forma[7] rectilínea. Como dichos movimientos han sido producto de la naturaleza[8] de los cuerpos, los llamaremos Movimientos Naturales. En efecto, aquellos cuerpos en los que predomina el elemento tierra, el movimiento será descendente o de caída y les llamaremos graves. Por otra parte, aquellos cuerpos en los que predomina el elemento fuego, el movimiento será ascendente y les llamaremos livianos. El agua y el aire se comportan como elementos intermedios. Pero lo curioso es que, aunque estemos hablando de movimientos, con estas ideas podemos fundamentar la inmovilidad terrestre, que tanto defendió Aristóteles y sus posteriores seguidores durante varios siglos. Porque se sigue que todos los cuerpos graves en su caída descendente se reunirán en un único sitio, el cual llamaremos lugar natural de los cuerpos graves que debe estar compuesto de tierra debido a que ésta es la más pesada de todos los elementos. Ahora bien, los cuerpos graves no pueden caer más allá de este lugar natural y, si hipotéticamente pasara esto, regresarían con un movimiento natural al mismo, debido a que este es precisamente su lugar natural. Pero dado que la tierra es el más pesado de todos los elementos, este lugar natural no debería cambiar ni desplazarse de lugar, convirtiéndose de esta forma en un referente absoluto para el movimiento de cualquier cuerpo, dado que está quieto. **Conclusión:** el estado ideal de las cosas graves (incluyendo la tierra misma) es el reposo, porque al dirigirse a su lugar natural, que es la tierra y dado que la tierra es inmóvil por su pesantez, un cuerpo pesado al llegar a dicho lugar natural estará quieto. Tendremos que tener otro referente para las cosas livianas, que es periférico y exterior a la tierra que llamaremos lugar natural de los cuerpos livianos representado por una esfera del fuego. Por tanto, no se puede caer más allá de la tierra, ni se puede ascender más allá de esta esfera.

---

[5] ETIENNE GILSON, La filosofia nel Medioevo, La nuova Italia, Florencia 1994, 555-556.
[6] Además de Buridán, podemos ver también una posición relativamente antiristotélica del arzobispo Tempier, ya que las tesis que atacó, estaban fundamentadas en el saber aristotélico.
[7] Entiéndase Trayectoria
[8] En la antigua Grecia, cuando los filósofos estudiaban la Naturaleza se referían como la “physis” (φύση), algo presente dentro de los cuerpos. De hecho, la palabra FISICA proviene de este vocablo.

Empero, no todos los cuerpos están formados por los cuatro elementos. Sólo los cuerpos "terrenales" están formados por ellos. Los cuerpos celestes, en cambio, los que se encuentran por encima de la esfera del fuego, que se ubica en el límite de la órbita de la luna son de una naturaleza distinta. A los cuerpos allí situados, se les llama cuerpos supralunares[9] y, según Aristóteles se componen de un elemento: el éter o quinta esencia. Es propio de los cuerpos compuestos de éter la inalterabilidad e incorruptibilidad. Siendo, pues, los cuerpos celestes de naturaleza diversa de los terrestres, también el tipo de movimiento realizado por ellos será diverso. A diferencia del movimiento de los cuerpos terrestres, cuya naturaleza los dispone a realizar movimientos lineales y temporales, el movimiento de los celestes es, y teniendo a la tierra como apoyo ya que es firme e inamovible, un movimiento circular y eterno. En consecuencia, la tierra no solo es el lugar natural de los cuerpos graves, sino que además es el centro del cosmos aristotélico, porque de no ser así los cuerpos celestes no podrán hacer su movimiento circular. Y por fuera de este cosmos, limitado por una esfera de estrellas (que gira en torno al centro), no hay nada. La figura 1-1 ilustra de una manera sencilla y correcta las apreciaciones de Aristóteles.

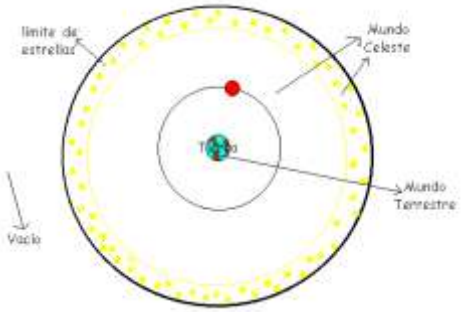


Figura 1-1: El Cosmos de Aristóteles

Habiendo comprendido las cuestiones preliminares, procederemos ahora a estudiar en detalle la teoría del ímpetus. Las ideas de Buridán se asentaron plenamente en la escuela nominalista parisiense y los otros maestros de dicha escuela las aceptaron sin añadir nada fundamental; sin embargo, estas trascendieron los límites de la universidad de París en la primera mitad del siglo XIV. La teoría del ímpetus de Buridán se compone de tres partes fundamentales, las cuales expondremos a continuación:

1. **El Ímpetus en el movimiento de los proyectiles:** las ideas expuestas anteriormente en este trabajo sobre el movimiento en Aristóteles presentan un gran inconveniente, pues basándonos únicamente en ellas no es posible explicar adecuadamente el movimiento de los proyectiles, fenómeno que es muy familiar tanto para los eruditos como para la gente del común. Tal fenómeno se constituyó en "la cruz de los aristotélicos" que buscaron múltiples explicaciones al mismo, sin lograr éxito alguno. La explicación aristotélica más difundida estaba fundamentada en el principio metafísico de que todo movimiento (motus) de un cuerpo cualquiera presupone un motor (motor). "Todo lo que se mueve es movido necesariamente por otro"[10]. De esta forma se aplicaba el principio de causalidad

[9] Supralunar, por encima de la órbita de la luna.
[10] ARISTÓTELES, Física, VII, 1, 241 b 24.

al movimiento, y por tanto, era inconcebible un efecto sin causa y un movimiento sin un motor. Con ello, los aristotélicos encuentran en el medio (el aire) "el motor" que sigue y está pegado al proyectil. Así lo menciona Aristóteles en su Física: *"Por lo demás, los proyectiles se mueven, aunque no los toque ya quien los ha lanzado, y se mueven […] porque el aire, que es movido, mueve a su vez"*[11]. Pero vemos que dicha explicación se contradice, porque algunas cosas que el aire debería impulsar con más fuerza teniendo en cuenta su forma, aerodinámica, la materia (por ejemplo si es roca o algodón) o el peso[12] del proyectil; resultan cayendo primero que otras que el aire empuja con menos fuerza.

Buridán, basándose en la idea de *fuerza motriz impresa,* introducida por el filósofo alejandrino Juan Filoponus[13] (490-570), concibe al ímpetus, como una *cualidad impresa* en el móvil por la acción del motor. Él explicaba la naturaleza de este ímpetus en analogía con el calor impreso por el fuego sobre un metal o con el sonido producido por la percusión en una campana. En ambos casos, ni el calor ni el sonido desaparecen instantáneamente, sino que decrecen progresivamente hasta extinguirse. Con ello, Buridán establece lo siguiente:

"Parece que el proyectil, después de haber dejado la mano del lanzador, no puede ser movido por el aire. Debiendo atravesar el aire, el proyectil encuentra en éste más bien una resistencia a su movimiento […] Esto es lo que me parece que se debe decir al respecto. Al mismo tiempo que el motor mueve el móvil, le imprime un cierto impetus, es decir le confiere una cierta potencia por la que es capaz de moverse en la misma dirección en la que el motor lo ha movido, ya sea hacia arriba, hacia abajo, hacia un lado o circularmente. Así, cuanto mayor es la velocidad con la que el motor mueve el móvil, tanto más intenso será el impetus que imprime en éste. Es este impetus lo que mueve la piedra después que aquél que la ha lanzado cesa de moverla. Pero por la resistencia del aire, como también por la pesadez que la inclina a moverse en un sentido contrario al que le ha sido impreso, este impetus se debilita continuamente […] hasta ser vencido y destruido por la gravedad, que a partir de entonces moverá la piedra con su movimiento natural […] Es ésta la explicación a la que hay que atenerse, porque las demás se han demostrado falsas, pero también porque los fenómenos concuerdan con ella […]De hecho se dice que se puede lanzar más lejos una piedra que una pluma, o también que un trozo de hierro o de plomo llega más lejos que un trozo de madera del mismo tamaño. Digo que la causa de ello es que todas las formas y disposiciones naturales son recibidas en la materia en proporción a la materia. Por lo tanto, cuanta más materia contiene un cuerpo, tanto mayor será el impetus que recibe" [14]

Vemos entonces que el ímpetus está en función de dos elementos, la cantidad de materia (massa) y la velocidad que se la da al proyectil. Es una versión primitiva de lo que después Descartes definiría como quantité de mouvement[15]. Además, como el ímpetus es una cualidad impresa al móvil, permanecería siempre. Lo que

[11] ARISTÓTELES, Física IV, 8, 215 a 15.
[12] Se menciona el término PESO y no masa teniendo en cuenta el contexto de Aristóteles.
[13] JUAN FILOPONUS, On Aristotle's Physics, en "Commentaria in Aristotelem Graeca" (vols. XVI-XVII) (a cargo de H. Vitelli). Reimer, Berlin 1887-1888.
[14] JEAN BURIDAN, Quaestiones in libros physicorum, lib. VIII, q. 12.
[15] Cantidad de Movimiento

hace el aire es disminuir el movimiento (por la resistencia) en vez de incrementarlo, tal y como decía Aristóteles. Pero conforme se mueva el proyectil se iría debilitando el ímpetus hasta anularse y, a partir de ese momento el mismo caería verticalmente (lo cual es en muy poco tiempo, casi al final en caso de ocurrir).

2. ***El Ímpetus y el movimiento acelerado de los cuerpos graves:*** Aristóteles pensaba que un cuerpo que cae por su movimiento natural se va acercando cada vez más a su lugar natural que es la tierra y por ello, a medida que va descendiendo, su velocidad debe incrementarse; en consecuencia, la caída es un movimiento acelerado. Pero Jean Buridán afronta el problema de la caída acelerada de los cuerpos empleando el concepto del ímpetus. En efecto Buridán dice:

   "Por tanto, es manifiesto que si un grave se mueve más velozmente o más lentamente, no se debe al hecho de que esté más o menos cercano de su lugar natural, sino, como diremos más adelante, porque adquiere por sí mismo un cierto impetus que se añade a su gravedad. El movimiento se hace así más rápido que cuando el grave es movido solamente por su gravedad. De manera que cuanto mayor [en velocidad] es el movimiento, más vigoroso se hace el impetus. Así, en la medida en que el cuerpo continúa descendiendo, su movimiento se hace cada vez más rápido".

   Y más adelante en la misma obra recalca:

   "La causa por la que la caída natural de los graves va acelerando progresivamente parece ser ésta. Al inicio de la caída, sólo la gravedad mueve el cuerpo. Por eso la caída es más lenta al inicio. Pero conforme esta gravedad va imprimiendo un cierto ímpetus al grave (ímpetus que mueve al cuerpo al mismo tiempo que la gravedad), el movimiento se hace más rápido. La caída se hace entonces progresivamente más rápida, porque el ímpetus se va haciendo al mismo tiempo más intenso. Se ve así cuál es la causa de que este movimiento sea cada vez más acelerado"[16].

   En consecuencia, la gravedad de los cuerpos es la que imprime el ímpetus a los cuerpos en su caída, aunque entiende que la gravedad es la misma antes, durante y después del movimiento. Tampoco asume que la resistencia del aire cambie durante la caída. Pero a medida que el cuerpo cae, adquiere un cierto ímpetus, como un poder añadido de mover al cuerpo, permaneciendo invariada la gravedad natural. Este ímpetus es adquirido como consecuencia del movimiento. Así, cuanto más veloz es el movimiento, más fuerte e intenso llega a ser el ímpetus. Como podemos ver, son ideas bastante modernas considerando la época en que fueron establecidas por Buridán.

[16] JEAN BURIDAN, Quaestiones in Aristotelis de Caelo et mundo, lib. II, q. 12:

3. ***El Ímpetus en los cuerpos celestes y en el cosmos.***

El siguiente fragmento es muy claro respecto a la forma en que Buridán aplica el ímpetus para los cuerpos celestes:

"Hay una imaginación que yo no sabría refutar de modo demostrativo. Según esta imaginación, Dios, desde la creación del mundo, movió los cielos con [una cantidad de] movimiento idéntica a aquélla con la que se mueven actualmente, imprimiéndoles un ímpetus con el que han continuado moviéndose uniformemente hasta el día de hoy. Este ímpetus, no encontrando ninguna resistencia contraria, no se extingue ni se debilita. Del mismo modo decimos que una piedra es movida (una vez abandonada la mano que la ha lanzado) por un ímpetus que ha sido impreso en ella; pero la gran resistencia que encuentra tanto en el medio como en su inclinación hacia otro lugar, hace que el ímpetus de la piedra disminuya continuamente hasta desaparecer. Por tanto, según esta imaginación, no es necesario admitir que las inteligencias sean los motores de los cuerpos celestes […]; ni siquiera es necesario que sea Dios quien los mueva, excepto bajo la forma de aquel influjo general, por el cual decimos que Dios coopera en todo aquello que es"[17].

Aristóteles tiene dos modelos separados dentro de su teoría. Una era la física para el mundo terrenal (cuatro elementos, imperfecto, de constante cambio y con movimientos rectilíneos y limitados) y otra era la física del mundo supralunar o de los cuerpos celestes (el éter o quinta esencia, perfecto, eterno e incorruptible y con movimientos circulares perpetuos), como lo vimos anteriormente. Por tanto, para él, lo terrenal y lo celeste estaban totalmente separados y se regían por reglas diferentes. La tradición nos dice que con Galileo se inició el camino que exitosamente concluyó Isaac Newton con la Ley de Gravitación Universal, quien unificó bajo una única explicación (la fuerza de gravedad) los fenómenos celestes y terrestres.

Sin embargo, vemos que hubo un precursor en este camino y ese es Jean Buridán, pues con su teoría del ímpetus explica bastante bien el movimiento tanto de las cosas terrenales como el de las celestiales, tal como nos lo demuestran las tres partes descritas anteriormente. Galileo, comprendió el valor del ímpetus "buridiano" y, gracias a este, logró concebir que el movimiento se conserva en los cuerpos y de ahí su ley de la Inercia. Lo que pasa es que, él no puede apartarse de que los cuerpos son graves y que esta es una propiedad presente en ellos; por tanto, es imposible de eliminar o desaparecer. Tal y como piensa Koyré, en sus *Estudios Galileanos,* un plano horizontal para Galileo es aquel que no se acerca ni aleja del centro, que será, en consecuencia, paralelo a la superficie de la tierra, es decir, circular. Por tanto, el movimiento que se conserva en la visión Galileana no es el rectilíneo, sino el circular. Y esa es la diferencia entre su principio de inercia y el de Descartes[18] quien finalmente lo formuló como es concebido actualmente, ya que éste último fue capaz de extraer todas las consecuencias de una geometrización total del espacio. Aún así, es brillante la intuición de la inercia por

[17]JEAN BURIDAN, Quaestiones in Aristotelis det mundo et mundo, lib. II, q. 14:

[18] Leyes de la Naturaleza de Descartes: *"1° Cada cosa, en cuanto depende de sí misma, continúa siempre en el mismo estado de reposo o de movimiento, y no cambia a no ser por la acción de alguna otra cosa. 2°. Todo cuerpo en movimiento tiende a continuar ese movimiento en línea recta."*

parte de Galileo, y dentro de ella destacamos la gran contribución del ímpetus de Buridán en la concepción de la misma.

1.2 Nicolás de Oresme: la cuantificación y geometrización de las cualidades

Como vimos anteriormente, la física de Aristóteles dominaba el pensamiento medieval y constituyó una razonable filosofía de la naturaleza muy de acuerdo con el sentido común, y capaz de dar explicación a muchos fenómenos. Tal y como expresa Thomas Kuhn, en su libro *La estructura de las revoluciones científicas*: "*Aristóteles no había escrito una mala física newtoniana sino una buena física griega"*[19]. Incluso bajo los postulados de Aristóteles, entre los siglos XII a XIV, se abonó el camino para nuevos planteamientos tal y como pasó con Jean Buridán. Igualmente surgieron otras formas para el tratamiento de las cualidades. Al respecto nos dice Cameron Crombie:

"Uno de los cambios más importantes que facilitó el empleo creciente de la Matemática en la Física fue el introducido por la teoría de que todas las diferencias reales podían ser reducidas a diferencias en la categoría de la cantidad; que, por ejemplo, la intensidad de una cualidad, como la del calor, podía medirse exactamente de la misma manera como podía serlo la magnitud de una cantidad. Este cambio es el que distinguió principalmente la física matemática del siglo XVII de la física cualitativa de Aristóteles. Fue comenzado por los escolásticos de la última parte de la edad media"[20].

Continuando con aquellos nuevos planteamientos, Santo Tomás de Aquino reflexiona sobre una de las sentencias del teólogo Pedro Lombardo (1090-1160), quien en su primer Libro de Sentencias señala: *"En el hombre, la caridad aumenta o disminuye, y, en épocas diferentes, es más o menos intensa".* Esta frase, aparentemente inocente y sin mayores implicaciones, genera entre los escolásticos una serie de disquisiciones sobre el modo de aumento o de disminución de las intensidades de las cualidades, que constituye uno de los principales objetos de análisis durante la baja Edad Media. Con sus ideas y venidas, puede decirse que durante los siglos XII, XIII y XIV se gestó una evolución en el pensamiento medieval que llevó al tratamiento de la variación de la intensidad de una cualidad similar al existente para la variación de una cantidad, es decir, a pensar en la adición de partes o grados de intensidad. (Ramírez, 2007)

Ahora bien, Nicolás de Oresme (1320-1382), que como sabemos fuese discípulo de Jean Buridán, profundizó como nunca antes en la representación de las intensidades de una cualidad. En esta parte, revisaremos el trabajo de Nicolás de Oresme, continuador ahora en una forma geométrica del trabajo iniciado por su maestro Buridán.

---

[19] THOMAS KUHN, La Estructura de las Revoluciones Científicas, Fondo de Cultura Económica, 2002.

[20] ALISTAIR CAMERON CROMBIE, (1959), Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/2, Siglos XIII-XVII, versión de José Bernia, Madrid, Alianza, 2000 pp. 82-83.

Oresme desarrolla sus ideas en su obra *Tractatus.* Allí generaliza la idea de representar una cualidad puntual por medio de un segmento, a la de representar una cualidad lineal por medio de una superficie, una cualidad superficial por medio de un volumen, e incluso a concebir la idea de una cuarta dimensión espacial para poder representar una cualidad de volumen. En el I (III) de esta obra y luego de indagar sobre los nombres que asignará, Oresme, respetando la tradición, opta por llamar longitud *(longitudo)* o extensión *(extensio)* a la línea recta considerada sobre o en el seno del cuerpo afectada por una cierta cualidad, y reserva el nombre de latitud *(latitudo)* o intensidad *(intensio)* para designar el grado que adopta la cualidad en un punto dado de la extensión. En I (IV) del Tractatus, leemos:

«La cantidad de una cualidad lineal debe ser imaginada por medio de una superficie cuya longitud o base es una línea trazada sobre un tal sujeto, como lo dice el capítulo precedente, y cuya latitud o altitud está representada por una línea elevada perpendicularmente sobre dicha base, de la forma indicada en el segundo capítulo. Por cualidad lineal entiendo la cualidad de una recta del sujeto dotado de la cualidad. Es evidente que la cantidad de una cualidad tal se puede imaginar con la ayuda de una superficie de este tipo, dado que se puede dar una superficie igual en longitud o en extensión a la cualidad, y semejante en altitud a la intensidad de esta cualidad, como se verá claramente más adelante».[21]

Pero según Anneliese Maier[22], *"Oresme sabía perfectamente, como la mayoría de sus contemporáneos, que ninguna magnitud finita puede obtenerse a través de un gran número de indivisibles, que, en sentido estricto, una línea no se compone de infinitos puntos, ni una superficie de infinitas líneas, etc., pero, en la construcción de sus configuraciones, pasa por alto esta dificultad"*[23]

En I (XI) del Tractatus, leemos: *"Así, se podría decir que una cualidad es uniforme si es de igual intensidad en todas sus partes, o que una cualidad uniformemente disforme es tal que para tres puntos cualesquiera, la relación entre la distancia del primero al segundo y la distancia del segundo al tercero es igual a la relación entre el exceso de la intensidad en el primer punto con respecto al segundo y el exceso de la del segundo con respecto al tercero, si se ha llamado primero al punto en el que la intensidad es la mayor.*

[21] NICOLÁS ORESME, Tractatus de Configurationibus Qualitatum et Motuum. Edited with an introduction , English Translation and Commentary by Marshall Clagett. (SIGNED). 1968.
[22] Anneliese Maier (1905-1971) Historiador alemán
[23] Anneliese Maier (1952a), p. 293, nota 13.

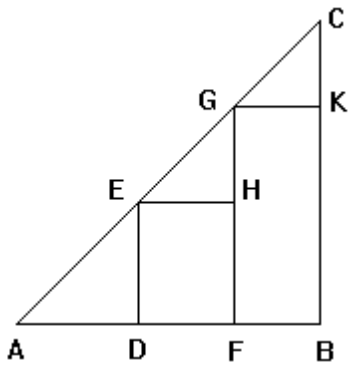


Figura 1-2: *Representación de una cualidad creciente*

Consideremos en principio una cualidad uniforme acabada en grado nulo, que es simbolizada o representada por el triángulo ABC (Ver Figura 1-2*). Una vez trazadas las rectas perpendiculares BC, FG y DE, sea EH paralela a DF y, análogamente, GK paralela a FB. Se tienen así dos triángulos CKG y GHE, que son equiángulos. De acuerdo con la proposición VI (4) de Euclides, la relación entre GK y EH es igual a la relación entre el exceso CK y el exceso GH. Y como GK es igual a FB y también EH es igual a DF, la relación entre FB y DF de las distancias entre los tres puntos de la base es igual a la relación entre CK y GH entre los excesos de las alturas que son proporcionales a las intensidades en los mismos puntos. Dado que la cualidad de la recta AB es tal que la relación entre las intensidades de los puntos de la recta es igual a la relación entre las rectas trazadas perpendicularmente a los mismos puntos, la proposición es claramente evidente".* [24] (Ramírez, 2007)

Pero la intención de Oresme no es la de describir algebraicamente una relación entre los puntos involucrados que dé lugar a la ecuación de una recta[25]:

También destaca entre los trabajos de Oresme, la prueba geométrica del teorema del grado medio para las cualidades; sin embargo, ésta no está exenta de diferentes interpretaciones. En III (VII) del Tractatus, leemos:

[24] NICOLAS ORESME (1988), Tractatus de Configurationibus Qualitatum et Motuum. p. 139.
[25] . Pierre Souffrin, traductor y comentador del *Tractatus de configuratione potentiarum et mensurarum difformitattum,* interpreta en lenguaje algebraico como

$$\frac{\overline{FB}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{CK}}{\overline{GH}} \; o\ bien\ \frac{x_3 - x_2}{x_2 - x_1} = \frac{h_3 - h_2}{h_2 - h_1}$$

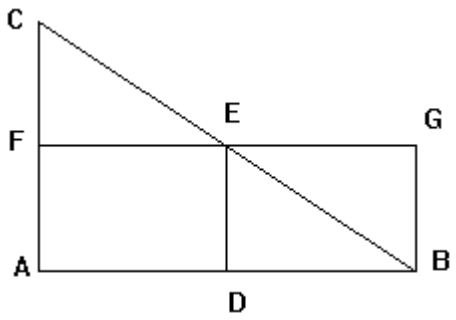


Figura 1-3: *Representación del Teorema del grado medio para las cualidades*

"Toda cualidad uniformemente disforme tiene la misma magnitud que la cualidad del mismo sujeto, o de un sujeto igual, que fuera uniforme, con el grado del punto medio del sujeto dado; esto, sobreentendiendo que el sujeto es lineal. Si es una superficie, tendría el grado de la línea mediana, y si es un sólido, el grado de la superficie mediana, siempre entendiendo los conceptos de forma análoga. Se lo mostrará en principio para una cualidad lineal. Sea entonces una cualidad representada por el triángulo ABC, uniformemente disforme terminada en grado nulo en el punto B (Ver Figura 1-3*). Sea D el punto medio de la recta del sujeto. El grado o la intensidad de ese punto se representa por la recta DE. La cualidad que sería uniforme sobre todo el sujeto con el grado DE puede representarse por el rectángulo AFGB [...]. Por la Proposición 26 del Libro I de Euclides, se establece que los dos pequeños triángulos EFC y EGB son iguales. Por lo tanto las cualidades así representadas por el triángulo y por el rectángulo son iguales. Y esto era lo que estaba propuesto [...]. Se debe hablar de una velocidad exactamente de la misma forma que de una cualidad lineal, cogiendo como punto medio el instante medio del tiempo que mide una velocidad de ese tipo. Se ve, por lo tanto, a qué cualidad o a qué velocidad uniforme es igual una cualidad o una velocidad uniformemente disforme"*[26] (Ramírez, 2007)

Algunos creen que Oresme es el verdadero creador de la geometría analítica (cuestión que no es cierta). Pero lo que sí es claro es que la contribución a la matematización y visualización geométrica del tratamiento de las cualidades hecha por Oresme es invaluable, sobre todo para Galileo, pues vemos que las demostraciones en sus libros insignes, son muy similares a las mostradas anteriormente. Lo único es que Galileo deja de pensar en las cualidades en general, y usa solo aquellas que le sirven para interpretar el movimiento.

[26] NICOLAS ORESME (1988), Tractatus de Configurationibus Qualitatum et Motuum, pp. 141-142.

1.3 El brillante Arquímedes

Galileo, por supuesto, conoció los trabajos de Oresme y Buridán. Sin embargo, no hubiese sido posible que le hubiese dado tanto valor a tales escritos, sino tuviese un gusto apasionante por las matemáticas y más aún con la idea de aplicarlas en la compresión de la naturaleza. La historia nos dice que tal gusto, fue fomentado por Ostilio Ricci, profesor de Galileo en Pisa, amigo de la familia y que pertenecía a la corte del duque Francesco de Florencia. Fue tanto el gusto que sentía por las matemáticas que Galileo abandonó sus estudios de medicina para dedicarse al estudio de estas (un oficio aparentemente de menos categoría del planificado por su padre Vicenzo, que quería que su hijo fuera médico). Pero independientemente del aprecio que pudiese tener por Ricci, el matemático más admirado por Galileo fue Arquímedes de Siracusa (287- 212 a.C.), a quien citó en sus escritos decenas de veces. Se decía de Arquímedes que: *"Se olvidaba de comer y descuidaba su persona hasta tal punto que, cuando en ocasiones era obligado a bañarse por la fuerza y a perfumarse, solía trazar figuras geométricas en las cenizas del fuego y diagramas en los ungüentos de su cuerpo, y estaba embargado por una total preocupación y, en un muy cierto sentido, por una posesión divina de amor y deleite por la ciencia"*[27]. Y Galileo admiraba a Arquímedes en vez de Aristóteles porque este último había descartado cualquier aproximación matemática a la física sobre la base de que los matemáticos se ocupaban de conceptos inmateriales, mientras que la naturaleza estaba formada exclusivamente de sustancias. Además, no se podía esperar que la naturaleza siguiera leyes matemáticas precisas. Pero en defensa de Arquímedes, Galileo contradice las ideas aristotélicas diciendo:

"Al igual que un contable que quiere hacer sus cálculos para tratar con el azúcar, la seda o la lana debe descontar las cajas, envoltorios y demás embalajes, así el científico matemático, cuando quiere reconocer en la realidad los fenómenos que ha demostrado en abstracto, debe deducir también todos los obstáculos materiales [como la fricción y la resistencia del aire]; si es capaz de hacerlo, puedo aseguraros que los objetos materiales se avienen a los cálculos aritméticos. El problema reside, pues, no en la abstracción o la realidad de las cosas, sino en el contable que no sabe cómo cuadrar estos libros."[28]

Otro debate en el que las ideas de Arquímedes pusieron de manifiesto otro error de Aristóteles, fue sobre la flotabilidad del hielo en el agua. La explicación de la época era todavía la aristotélica: que el hielo era más pesado que el agua pero que los trozos flotaban debido a su forma plana y alargada. Pues bien, Galileo sabía que, en realidad, el hielo es menos denso que el agua y flotaría siempre fuera cual fuera su forma. Para corroborarlo, sumergió un trozo de hielo y lo soltó en el fondo del agua. Si la única forma de que flotara era su forma, entonces, también impediría que ascendiera; y más aún si el hielo era más pesado que el agua. Como era de esperar, aquel trozo subió a la

[27] Comentario de Plutarco, historiador romano del siglo I d.C.
[28] GALILEO GALILEI, Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias, Pg 180

superficie. Aristóteles estaba, una vez más, equivocado y quien le había dado la pista había sido su admirado Arquímedes.[29]

Para Galileo, Arquímedes fue pionero en aplicar las matemáticas a los fenómenos naturales y por ello, con base en los textos de Oresme y Buridán, se dio a la tarea de explicar la naturaleza siguiendo el ejemplo del matemático griego.

1.4 El Copernicanismo

Durante el siglo XIV, la parte este de Europa, es decir, el imperio bizantino, estaba siendo fuertemente asediada por el islam. Muchos sabios bizantinos buscaron entonces refugio especialmente en Italia y llevaron consigo muchos escritos originales de los grandes maestros griegos, lo que produjo gran conmoción, pues no eran conocidos por los occidentales a menos de que hubiesen sido traducidos del árabe. Sin embargo, había varios que solo eran conocidos por los árabes en su idioma y conservados en el interior de las universidades por los escolásticos de la Edad Media. Los eruditos occidentales se interesaron entonces en tales obras clásicas generando un segundo despertar especialmente en las artes, la literatura y la arquitectura, a lo que conocemos en la historia como Renacimiento. Junto con él, surgió el humanismo, originalmente al exterior de las universidades, que no tenía necesariamente carácter científico. Sin embargo, entre todas las cosas que resurgieron estaba una fe, antes desaparecida, que tenía un desapego a las cosas mundanas y que buscaba en la naturaleza regularidades matemáticas y geométricas en combinación con una visión del sol fuente de vida y principios vitales en el universo. Este movimiento era el Neoplatonismo, cuyo resurgir estuvo encabezado en Florencia por Marsilio Ficino y Pico de la Mirándola quienes se encargaron de su difusión por Italia[30]. Y a este país habría de llegar un astrónomo de origen polaco llamado Nicolás Copérnico, quien conoció los textos antiguos e influenciado por las ideas neoplatónicas estableció un nuevo orden del cosmos, con una Tierra en movimiento, algo por cierto bastante revolucionario[31] para el saber de la época, que se basaba en Aristóteles. En su obra ilustre, De Revolutionibus Orbes Coelestum, Copérnico pone de manifiesto tales influencias en la carta-prefacio de la misma:

"…En consecuencia me he tomado la molestia de leer las obras de todos los filósofos que han llegado a mis manos para ver si alguno de ellos había supuesto que los movimientos de las esferas del mundo eran otros que los admitidos y enseñados por las actuales escuelas matemáticas. Primero encontré en Cicerón de Hicetas (de Siracusa, siglo V antes de nuestra era) pensaba que la tierra se mueve. Posteriormente, vi cómo

[29] Disponible en http://www.ilhn.com/blog/2008/07/01/galileo-y-arquimedes/e
[30] El Neoplatonismo había desaparecido prácticamente en siglo VI de nuestra era, cuyos últimos exponentes fueron Porfirio y Jamblino pero gracias al resurgir a través de Ficino y Pico, se asentó en Florencia y Bolonia para su posterior difusión por todo el país.
[31] Precisamente como se trata de una revolución científica, Thomas Kuhn la llama "Revolución Copernicana"

Plutarco reseñaba en sus obras que algunos otros filósofos han mantenido idéntica opinión. Para patentizarlo escribo las propias palabras de Plutarco: «Sin embargo otros creían que la tierra gozaba de movimiento. Así Filolao, el pitagórico (siglo IV antes de nuestra era) dice que se mueve alrededor del fuego (central) siguiendo un círculo oblicuo, lo mismo que el sol y la luna. Heráclides de Ponto y Ecfanto el pitagórico (siglo IV antes de nuestra era) también asignan movimiento, aunque no de translación, a la tierra, considerando que gira alrededor de su propio centro como si fuera una rueda con eje orientado de este a oeste»

Beneficiándome de estas opiniones, comencé yo también a pensar en la movilidad de la tierra. Y aunque la opinión parecía absurda, al saber que otros antes de mi habían gozado de todo libertad para imaginar cualquier círculo a fin de explicar los movimientos de los astros, consideré que en justa correspondencia podía permitírseme la libertad de investigar si, admitiendo algún movimiento de la tierra, era posible encontrar una teoría de los orbes celestes más sólida que la emitida por aquellos…"[32].

El modelo de Copérnico, que aunque no fue original como él mismo lo reconoce, cambiaría radicalmente el rumbo de la ciencia y la astronomía. Expondremos las ideas básicas tal y como él lo hizo en el primer volumen de su obra De Revolutionibus:

1. El mundo (cosmos) es esférico.
2. La tierra también es esférica.
3. La tierra y el agua juntas forman una sola esfera.
4. Los cuerpos celestes se mueven en círculos uniformes.
5. La tierra se mueve y debe ser de forma circular uniforme.
6. El cielo es inmenso comparado con las dimensiones de la tierra (paralaje).
7. Los antiguos argumentan que el mundo se mueve y la tierra está inmóvil.
8. Son insuficientes los argumentos antiguos, en favor de la inmovilidad terrestre pues el movimiento de los astros y los planetas es aparente, pues los genera la tierra al girar.
9. La tierra tiene varios movimientos (translación, rotación y precesión).
10. Un nuevo orden y el centro es el sol y su extremo la esfera de las estrellas fijas[33].

Cerca de 70 años después de la muerte de Nicolás Copérnico, nos encontramos a Galileo en Venecia. Había oído rumores de un holandés que promocionaba un tubo con lentes combinadas en su interior, que servía para ver de lejos. Galileo ensayó por si mismo combinaciones y logró construir un instrumento similar e hizo algo que aparentemente nadie había hecho con anterioridad: dirigió el instrumento hacia el cielo. Y

[32]THOMAS KUHN, La Revolución Copernicana. Pg, 194
[33] THOMAS KUHN, La Revolución Copernicana. Vol II. CAPITULO 5.

con este instrumento que después se le llamará Telescopio hizo descubrimientos sorprendentes.

- Cráteres, valles y montañas en la superficie de la luna
- Manchas oscuras en la superficie del sol
- Que la vía láctea era un cúmulo de estrellas
- Fases en el planeta Venus, tal y como si girara alrededor del sol
- Cuatro cuerpos celestes girando alrededor de Júpiter. (Ver Figura 1-4)

Figura 1-4: Los 4 satélites de Júpiter vistos por Galileo

Posiblemente Galileo conoció desde antes la obra copernicana, aunque no es seguro que se hubiese adherido al copernicanismo. Lo que sí es un hecho es que, después de hacer estos descubrimientos, especialmente las fases de Venus y los cuerpos (satélites) alrededor de Júpiter fue un copernicano convencido y preocupado por convencer a los demás de las ideas del astrónomo polaco. De no ser así, no hubiese escrito obras como *El Sidereus Nuncius, los Diálogos sobre los dos sistemas máximos* o *la carta a Cristina de Lorena*, en donde defendió a toda costa el movimiento terrestre en claro desacuerdo con la teoría geocéntrica. Dicha posición es vital para la obra de Galileo como veremos más adelante, y con ello construyó su modelo del mundo que es una versión demasiada simplificada del verdadero sistema hecho por Nicolás Copérnico. (Ver Figura 1-5)

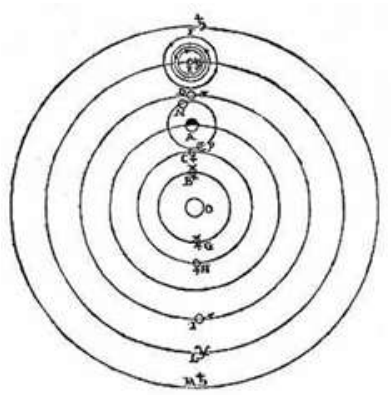


Figura 1-5: El mundo Copernicano según Galileo

2. Componente disciplinar

En esta parte, desarrollamos los dos referentes de tipo disciplinar, los cuales son los siguientes:

- ✓ Galileo es conocedor de la obra *Elementos* de Euclides (325-265 a. C). Bajo el rigor matemático de definiciones, axiomas, postulados y teoremas construye los fundamentos de la cinemática en la parte final de su libro *Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias.*
- ✓ El principio de inercia, el movimiento de proyectiles, las objeciones a la inmovilidad terrestre y la caída de los cuerpos están en forma de diálogo, teniendo como protagonistas a tres interlocutores (Simplicio, Sagredo y Salviati).

2.1 El sistema axiomático-deductivo de la cinemática galileana.

Un sistema axiomático-deductivo, parte de un conjunto de axiomas y definiciones que se utilizan, para demostrar los teoremas. La primera compilación formal de este modo la hizo Euclides en su obra Elementos, aproximadamente en el año 300 a.C. Nicolás de Oresme usó la geometría euclidiana para su trabajo de representación de las cualidades, como vimos anteriormente. Galileo retoma entonces esta geometría euclidiana, para darle consistencia matemática a su descripción del movimiento.

A continuación se mostrarán, las definiciones, axiomas y teoremas que se usan en la propuesta. Esta estructura está en su obra *Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias* en la Jornada III. Solo faltaría decir que las demostraciones de Galileo no usan el lenguaje algebraico con el que contamos hoy en día, sino que lo hacen con proporciones con base en el lenguaje prosaico pero matemático que vimos con Nicolás Oresme. Aclaramos también que, en sus enunciados, Galileo acostumbra hablar en primera persona. Esta es pues la estructura.

- ✓ *Acerca del movimiento uniforme tenemos necesidad de una sola definición, que yo enunciaré del modo siguiente:*

  DEFINICIÓN: Entiendo por MOVIMIENTO UNIFORME aquel cuyos espacios recorridos por un móvil en cualesquiera (quibuscunque) tiempos iguales, son entre sí iguales.

  Advertencia: me ha parecido bien añadir a la antigua definición (que llama simplemente movimiento uniforme, a aquel en que espacios iguales son recorridos en tiempos iguales) el vocabulario "quibuscunque", o sea en tiempos cualesquiera iguales; porque puede suceder que el móvil recorra espacios iguales durante tiempos iguales, y que sin embargo no sean iguales los espacios recorridos durante algunas fracciones más pequeñas, aunque entre sí iguales, de esos mismos tiempos. De la definición precedente dependen cuatro axiomas, a saber:

- ✓ *AXIOMA I: Tratándose de un mismo movimiento, uniforme, el espacio recorrido durante un tiempo más largo, es mayor que el espacio recorrido durante un tiempo más breve.*

- ✓ *AXIOMA II: Tratándose de un mismo movimiento uniforme, el tiempo, en que un espacio mayor es recorrido, es más largo que el tiempo en que es recorrido un espacio menor.*

- ✓ *AXIOMA III: Un espacio recorrido con mayor velocidad durante un mismo tiempo, es mayor que el espacio recorrido con menor velocidad.*

- ✓ *AXIOMA IV: La velocidad con que, durante un mismo tiempo, es recorrido un espacio mayor, es mayor que la velocidad con que es recorrido un espacio menor.*

- ✓ *TEOREMA 1: Si un móvil, que marcha con movimiento uniforme y con velocidad constante, recorre dos espacios, los tiempos de los trayectos son entre sí como los espacios recorridos.* (Ver Figura 2-1)

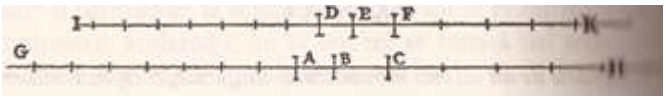


Figura 2-1: *Teorema 1*

Demostración: Sea un móvil que marche con movimiento uniforme y que recorra con velocidad constante los dos espacios AB, BC; y sea DE el tiempo del movimiento por AB; y el tiempo del movimiento por BC sea EF. Digo, que el espacio AB es al espacio BC, como el tiempo DE es al tiempo EF. Extiéndase en ambas direcciones los espacios y los tiempos hacia G, H e I, K, respectivamente; en AG tómese un número cualquiera de espacios iguales al mismo AB, y de modo semejante en DI un número igual de tiempos

iguales al tiempo DE; en CH tómese también un número cualquiera de espacios iguales al mismo tiempo CB, y en FK un número idéntico de tiempos iguales al tiempo EF: en tal caso, el espacio BG y el tiempo El serán múltiplos iguales (aeque) del espacio BA y del tiempo ED, tomados según factores cualesquiera, y del mismo modo el espacio HB y el espacio KE serán por igual múltiplos, en una multiplicación cualquiera, del espacio CB y del tiempo FE. Y como DE es el tiempo del recorrido por AB, toda la El será el tiempo de toda la BG, dado que el movimiento se supone ser uniforme, y hay en El tantos tiempos iguales al DE, como espacios iguales al BA hay en BG; de modo semejante se concluye que KE es el tiempo de traslación por HB. Y dado que se supone ser uniforme el movimiento, si el espacio GB fuera igual al BH, también el tiempo IE sería igual al tiempo EK; y si GB es mayor que BH, también IE será mayor que EK; y si es menor, menor Hay, por consiguiente, cuatro cantidades, AB la primera, BC la segunda, DE la tercera, EF la cuarta; y de la primera y de la tercera, es decir del espacio AB y del tiempo DE, se han tomado como múltiplos iguales, según una multiplicación cualquiera, el tiempo IE y el espacio GB; y se ha demostrado que éstos o son a la vez (una) iguales, o a la vez menores o a la vez mayores que el tiempo EK y que el espacio BH, que son por igual múltiplos de la segunda y de la cuarta: luego la primera respecto a la segunda, es decir el espacio AB respecto al espacio B, tiene la misma razón que la tercera y la cuarta, es decir el tiempo DE respecto al tiempo EF: que es lo que se quería demostrar.

- ✓ *(…) damos por terminada la definición del movimiento acelerado, del que trata las definiciones siguientes; y es[34]:*

  DEFINICIÓN: llamamos movimiento uniformemente acelerado aquel que, partiendo del reposo, va adquiriendo incrementos iguales de velocidad en tiempos iguales.

- ✓ *TEOREMA 2: El tiempo, en que un móvil recorre un espacio con movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, es igual al tiempo en que el mismo móvil recorrería ese mismo espacio con movimiento uniforme, cuya velocidad fuera subdupla [mitad] de la mayor y última velocidad [final] del anterior movimiento uniformemente acelerado.* (Ver Figura 2-2)

[34] Después de una larga disertación, la definición sale de labios de Salviati. Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias. Pg. 231.

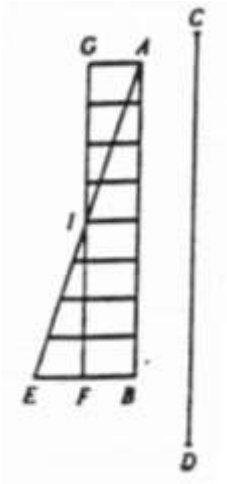


Figura 2-2: *Teorema 2*

Demostración: Representemos por la extensión AB el tiempo en que un móvil con movimiento uniformemente acelerado, a partir del reposo, recorre el espacio CD, y de entre los grados de velocidad, acrecentados durante los instantes del tiempo AB, el mayor y último esté representado por la línea EB, tal como está trazada sobre AB; y al unir AE, todas las líneas, trazadas desde cada uno de los puntos de la línea AB y paralelas a la BE, representarán los grados de la creciente velocidad, a partir del instante A. Dividida luego en dos partes la BE en el punto F, y trazadas FG, AG paralelas a BA, BF, quedará constituido el paralelogramo AGFB, que es igual al triángulo AEB, y que, con su lado GF divide a la AE en dos partes iguales en I. Y si las paralelas del triángulo AEB, se extienden hasta la IG, tendremos que el conjunto de todas las paralelas contenidas en el cuadrilátero es igual al conjunto de las comprendidas en el triángulo AEB; pues las que están en el triángulo IEF son correspondientemente iguales a las contenidas en el triángulo GIA; y las contenidas en el trapecio AIFB son comunes. Y como a todos y cada uno de los instantes de tiempo AB corresponden todos y cada uno de los puntos de la línea AB, y como las paralelas trazadas por esos puntos y contenidas en el triángulo AEB, representan los grados crecientes de la velocidad en aumento, y las paralelas comprendidas en el paralelogramo, representan los grados crecientes de la velocidad en aumento, y las paralelas comprendidas en el paralelogramo, representan los mismos grados de velocidad no creciente, sino constante; es evidente que tanto son los momenta de velocidad tomados en el movimiento acelerado, de acuerdo a las crecientes paralelas del triángulo AEB, como en el movimiento uniforme según las paralelas del paralelogramo GB, pues lo que falta a los momenta en la primera mitad del movimiento acelerado (y faltan los momenta representados por las paralelas del triángulo AGI, es recompensado por los momenta representados por las paralelas del triángulo IEF. Es, pues, evidente, que serán iguales los espacios recorridos en un mismo tiempo por dos móviles, de los cuales uno se mueva con movimiento uniformemente acelerado, al partir del reposo, el otro con movimiento uniforme, de velocidad subdupla (mitad) de la máxima velocidad del movimiento acelerado: lo que se intentaba demostrar.

Aunque es muy interesante la relación entre los espacios recorridos y los tiempos (las cuales están entre sí como la razón al cuadrado de esos tiempos), no usaremos esta relación dentro de esta propuesta.

2.2 Jornada II: Diálogos sobre los dos sistemas máximos del mundo

En el componente didáctico, hablaremos de la dialéctica y del método de Galileo. Pero es claro que, mediante el uso de la razón, podemos a llegar a conclusiones tan válidas como la estructura axiomática-deductiva expuesta anteriormente. Para ello, Galileo se sirve del diálogo el cual tiene como protagonistas a tres interlocutores Simplicio, Sagredo y Salviati (Ver Figura 2-3) que brevemente describiremos a continuación:

Figura 2-3: Simplicio, Sagredo y Salviati (De izquierda a derecha)

- ✓ *Filippo d'Averardo* ***Salviati:*** de quien podríamos decir que representa en el diálogo al mismo Galileo, fue probablemente su discípulo en Padua. Era hijo de una noble familia florentina y una profunda amistad lo ligaba al Maestro, a quien solía recibir a diario en su Villa delle Selve, que se hizo después famosa por las observaciones astronómicas que Galileo llevó a cabo en ella.

- ✓ *Giovanfrancesco di Nicolò* ***Sagredo****:* de noble familia veneciana, fue primero alumno de Galileo en Padua, y después cónsul de Venecia. Por ello es, una persona culta, con la mente clara y aguda, pero no especializada en el estudio de la matemática, y más todavía desconocedora de las ideas y descubrimientos últimos. Por ello lo vemos muchas veces refutando a Simplicio, pero no desde un punto de vista nuevo, sino simplemente haciéndole notar sus contradicciones. Es, en suma, el buen sentido (y quizás algo más que el buen sentido) puesto como juez entre el aristotelismo de Simplicio y el galileísmo de Salviati.

- ✓ ***Simplicio:*** a pesar de encarnar al homónimo del gran comentarista de Aristóteles, posiblemente no represente a una persona real. Se trata de aquel que simplemente es defensor de la filosofía aristotélica y escolástica. Es verdad que en el dialogo repite los argumentos con que el Pontífice solía oponerse a quienes defendían la inmovibilidad de la Tierra, pero sólo la calumnia puede atribuir a Galileo el propósito de representar en Simplicio al Papa Urbano VIII[35].

En esta parte nos remitiremos al libro *Diálogos sobre los dos sistemas máximos del mundo*, obra publicada en 1632. En la jornada II, encontramos dos diálogos en particular, que usaremos dentro de la propuesta.

DIALOGO 1: EXPERIMENTO DEL PLANO (Páginas 129 y 130)

SALV. No deseo que digáis o respondáis que sabéis nada más de lo que sabéis con toda seguridad. Por tanto decidme. Si tuvieseis una superficie plana, tan pulida como un espejo y de materia dura como el acero y que no estuviera paralela al horizonte, sino un poco inclinada, y sobre ésta pusieseis una bola perfectamente esférica de materia grave y durísima como, v.g., de bronce, si la dejarais abandonada a sí misma, ¿qué creéis que haría? ¿No creéis (como creo yo) que se mantendría quieta?

SIMP. ¿Si la superficie estuviese inclinada?

SALV. Sí, puesto que así ya lo he puesto.

SIMP. Yo no creo que se quedase quieta en absoluto, más bien al contrario estoy seguro de que se movería espontáneamente hacia el declive.

SALV. Fijaos bien lo que decís, Sr. Simplicio, porque yo estoy seguro de que se quedaría quieta cualquiera que fuese el lugar en que la pusierais.

SIMP. Si vos, Sr. Salviati, os servís de esta clase de suposiciones, ya dejará de extrañarme que lleguéis a conclusiones más falsas.

SALV. Así pues ¿estáis seguro de que la bola se movería espontáneamente hacia el declive?

SIMP. ¿Qué duda cabe?

SALV. Y eso lo consideráis seguro, no porque yo os lo haya enseñado (porque yo trataba de persuadiros de lo contrario), sino por vos mismo y por vuestro juicio natural.

SIMP. Ahora entiendo vuestro truco. Vos habláis así para tentarme y (como dice el vulgo) sonsacarme, pero no porque lo creyerais así realmente

[35] Estas características se tomaron de la nota del traductor José San Román Villasante, de los Discursos y Demostraciones de dos nuevas ciencias

SALV. Así es. ¿Y cuánto tiempo se movería la bola, y con qué velocidad? Notad que he mencionado una bola perfectísimamente redonda y un plano exquisitamente pulido para eliminar todos los impedimentos externos y accidentales. Además quiero que hagáis abstracción del aire, con la resistencia que ofrecería al estar en la intemperie, y de todos los demás obstáculos accidentales que se os puedan ocurrir

SIMP. Lo he entendido muy bien. Y en cuanto a vuestra pregunta, respondo que la bola continuaría moviéndose hasta el infinito, si tanto se prolongase la inclinación del plano, y con movimiento continuamente acelerado; pues tal es la naturaleza de los móviles graves que vires acquirant eundo (van acrecentando continuamente sus fuerzas). Y cuanto mayor fuese el declive, mayor sería la velocidad.

SALV. Pero si uno quisiera que la bola se moviese hacia arriba sobre la misma superficie, ¿creéis que lo haría?

SIMP. Espontáneamente no, sólo si la arrastraran o la arrojaran con violencia.

SALV. Y si fuese empujada con algún ímpetu que se le imprimiera violentamente, ¿cuál y cuánto creéis que sería su movimiento?

SIMP. El movimiento, por ser contrario a la naturaleza, iría languideciendo y retardándose progresivamente, y sería más largo o más breve según el mayor o menor ímpetu y según el mayor o menor declive.

SALV. Entonces me parece que hasta aquí me habéis explicado los accidentes de un móvil sobre dos planos distintos. En el plano inclinado el móvil grave desciende espontáneamente y se va acelerando continuamente, y para mantenerlo en reposo hay que usar fuerza. Pero sobre el plano ascendente se requiere fuerza para empujarlo y también para detenerlo, y el movimiento que se le ha impreso va menguando continuamente, hasta que al final se aniquila.

Decís además que tanto en un caso como en el otro la diferencia surge del hecho de que la cuesta hacia arriba o hacia abajo del plano sea mayor o menor. De modo que de la mayor inclinación hacia abajo se sigue mayor velocidad y, por el contrario, sobre el plano cuesta arriba el mismo móvil lanzado con la misma fuerza se mueve a tanta mayor distancia cuanto menor es la elevación. Ahora decidme lo que le sucedería al mismo móvil sobre una superficie que no estuviese inclinada ni hacia arriba ni hacia abajo.

SIMP. En este caso tengo que pensar un poco la respuesta. No existiendo declive hacia abajo, no puede haber inclinación natural al movimiento, y no existiendo inclinación hacia arriba, no puede haber resistencia a ser movido, de modo que vendría a ser indiferente entre la propensión y la resistencia al movimiento. Me parece, por tanto, que debería quedarse naturalmente quieto. Pero soy un desmemoriado, porque no hace mucho que el Sr. Sagrado me hizo entender que así sucedería.

SALV. Así lo creo, si uno lo dejase quieto. Pero, y si le hubiera dado ímpetu hacia algún lado, ¿qué sucedería?

SIMP. Sucedería que se movería hacia ese lado.

SALV. Pero, ¿con qué clase de movimiento? ¿Continuamente acelerado como en los planos inclinados hacia abajo, o progresivamente enlentecido, como en los inclinados hacia arriba?

SIMP. Al no haber inclinación ni hacia arriba ni hacia abajo, no sé captar ni causa de aceleración ni de enlentecimiento.

SALV. Sí. Pero si no existe causa de enlentecimiento, mucho menos debe haberla de reposo. Así pues, ¿cuánto presumís que duraría el movimiento?

SIMP. Tanto cuanto durase la longitud de la superficie no inclinada ni hacia arriba ni hacia abajo.

SALV. Así pues, si tal espacio no tuviese fin, ¿el movimiento en él también sería igualmente sin fin, esto es, perpetuo?

SIMP. Me parece que sí, si el móvil fuese de materia que durara.

DIALOGO 2: EL EXPERIMENTO DEL NAVÍO (Pg 162 y 163)

SALV. … Y aquí, para dejar clara definitivamente la nulidad de todas las experiencias aducidas, me parece que es el lugar y el momento adecuado de mostrar el modo de experimentarlas todas facilísimamente. Encerraos con algún amigo en la mayor estancia que esté bajo cubierta de algún gran navío, y meted en ella moscas, mariposas y animalillos voladores parecidos. Haya también un recipiente grande de agua con pececillos dentro. Además manténgase en alto un cubo que gota a gota vaya dejando caer el agua en otro recipiente de boca estrecha, situado debajo. Cuando la nave esta quieta, observad atentamente que los animalillos volantes se mueven en todas las direcciones de la estancia con igual velocidad.

Veréis que los peces nadan indistintamente hacia todos los lados. Las gotas que caen entrarán todas en la vasija situada debajo. Y vos, a un tirar algo al amigo, si las distancias son iguales, no tendréis que lanzarla con más fuerza hacia una parte que hacia otra, si las distancias son iguales. Y si saltáis como suele decirse, con los pies juntos, os desplazaréis igual espacio con independencia de la dirección. Una vez que hayáis observado diligentemente todas estas cosas, aunque no hay ninguna duda de que mientras el bajel está parado tienen que suceder así, haced mover la nave con la velocidad que sea. Veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allá) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos

mencionados y que, a partir de ellos, no podréis determinar si la nave avanza o está quieta.

Al saltar os desplazaréis en el entablado los mismos espacios que antes y no se dará el caso de que, porque la nave se mueva velocísimamente, daréis mayores saltos hacia popa que hacia proa, aunque en el tiempo que estáis en el aire el entablado que está debajo de vos se desplace hacia la parte contraria a vuestro salto. Y al lanzar alguna cosa al compañero, no necesitaréis tirarla con más fuerza para que le llegue, si él está hacia la proa y vos hacia la popa, que si estuvieseis al revés. Las gotas caerán como antes en el vaso inferior, sin que ni siquiera una caiga hacia popa, por más que, mientras la gota está en el aire, la nave se desplace muchos palmos. Los peces en su agua no requerirán mayor esfuerzo para nadar hacia la parte delantera del recipiente que hacia la posterior, sino que llegarán con mayor facilidad a la comida puesta sobre cualquier lugar del borde del recipiente.

Finalmente las mariposas y las moscas continuarán su vuelo indistintamente hacia cualquier lado, y en ningún caso sucederá que se queden hacia la pared que mira a popa, como si estuvieran fatigadas de seguir la veloz carrera de la nave, de la que habrán estado separadas por mucho tiempo, al mantenerse en el aire. Y si quemáis una lagrima de incienso se formará un poco de humo que se verá ascender y mantenerse en lo alto como una nubecilla totalmente indiferente al movimiento hacia uno u otro lado. La causa de la total correspondencia de estos efectos es que el movimiento de la nave es común a todas las cosas contenidas en ésta incluyendo el aire, porque por eso dije yo que se estuviese bajo cubierta.

3. Componente didáctico

En esta parte, desarrollamos los aspectos de tipo didáctico, los cuales son los siguientes:

- ✓ Galileo es poseedor de una gran retórica y usa la dialéctica platónica como principal herramienta didáctica para dar a conocer sus ideas. A pesar de no haberse comprobado un platonismo en Galileo, sus obras insignes, los diálogos y los discursos, muestran la notable influencia de este estilo en el científico italiano.
- ✓ Además es pionero de un nuevo método para estudiar la naturaleza cuyos pasos son la resolución, la composición y la experimentación. Además tiene una concepción matemática de la misma tal y como lo expone en su obra *El Ensayador (Il Saggiatore).*

Además de desarrollar estos dos aspectos, agregaremos uno que no es posible que pudiese existir en la época en que vivió Galileo. Está relacionado con el Ministerio de Educación Nacional y las nuevas tendencias multimedia en la educación. Dice lo siguiente:

- ✓ Usar las concepciones de Galileo Galilei para hacer una propuesta de enseñanza de la cinemática y la ley de la Inercia con los lineamientos del Ministerio de Educación Nacional y los recursos multimedia.

A continuación procederemos a desarrollar tales aspectos.

3.1 La Dialéctica de Platón

En el contexto de la Grecia antigua, se define la Dialéctica como el conocimiento de la verdad, diferenciándola de lo falso y lo neutro[36]. Pero, para conocer dicha verdad, debemos evitar confundirla con las apariencias, es decir, aquello que parece pero no es. Y la forma de hacerlo, es por medio del lenguaje usando particularmente el diálogo. Justamente por hacer uso del diálogo, es que se le llama Dialéctica. Podemos tener entonces una definición mejorada, al entorno griego tal y como sigue[37] :

"Dialéctica es la búsqueda de la verdad mediante el diálogo"[38]

La dialéctica griega, ha sufrido múltiples transformaciones pasando por Hegel, Marx, Engels entre otros. Hoy en día su definición y su uso dependen del contexto en que se mire. Pero varios pensadores contemporáneos, coinciden que el antiguo filósofo Zenón de Elea[39] fue "el primer dialéctico", tal y como lo había estipulado Diógenes Laercio[40]. Con Zenón la palabra apariencia adquiere su significado, que como dijimos, es aquello que parece pero que en realidad no es. Zenón estudia principalmente el movimiento, el cual es por supuesto una apariencia para él. Su prueba son unas paradojas, ideadas por él, y que le han hecho muy famoso (se analizan mucho las paradojas de Zenón dentro de la filosofía y las matemáticas hoy en día). Zenón partía de una determinación dada, haciendo que tal determinación llegará a una contradicción lógica por sí misma y ahí surgía la apariencia; es decir, aparece el absurdo de cada determinación, aquello que parece pero no es.

Después de Zenón, el filósofo Platón, el cual curiosamente tenía muchas ideas contrarias al filósofo eleático, se sirvió de la dialéctica para ilustrar los conceptos de una forma brillante. La asociación entre apariencia y realidad es en Platón el resultado del legítimo cuestionamiento acerca del verdadero ser.

"Para Platón, la dialéctica consiste, en una contraposición de intuiciones sucesivas, que cada una de las cuales aspira a ser la intuición plena de la idea, del concepto, de la esencia, pero como no puede serlo la intuición siguiente contrapuesta a la anterior rectifica y mejora aquella anterior. Y así sucesivamente, en diálogo o contraposición de una a otra intuición, se llega a purificar, a depurar lo más posible esta vista intelectual, esta vista de los ojos del espíritu hasta acercarse lo más posible a esas esencias ideales que constituyen la verdad absoluta" (González, 2008)

[36] Esto lo establecieron los filósofos estoicos Posidonio y Crisipo de Solos
[37] Aquí aplicamos la dialéctica para definir de una mejor manera dicho término.
[38] Esta es la manera como Platón (y Galileo como veremos después) entendieron la dialéctica.
[39] Filósofo griego, que vivió entre nacido en 490-430 a. C.
[40] Historiador griego que vivió en el Siglo III d.C,
.

Dentro de las múltiples perspectivas que pueda tener la dialéctica para Platón, nos centraremos en ésta entendida como método racional, ya que ésta es las que identifica a la filosofía y a la ciencia. Las características que atribuye Platón a este tipo de método son las siguientes:

1. Es una actividad cognoscitiva, pues se trata del ejercicio de la razón.

2. Su objeto es el conocimiento del mundo inteligible y de las relaciones existentes entre las Ideas.

3. Su aspiración última es el conocimiento de la idea de bien y del modo en que ésta es el fundamento último de toda la realidad. Platón definirá entonces, la filosofía como "una ascensión al ser".

4. Al ser una actividad estrictamente racional, no se fundamenta en la percepción; por valerse de la pura razón, el conocimiento al que da lugar es un conocimiento estricto, universal y necesario.

5. Conserva la idea de que hay que partir de una hipótesis primera y luego irla mejorando, a fuerza de las críticas que se le vayan haciendo en torno, estableciendo el diálogo en el intercambio de afirmaciones y negaciones. Busca el sentido último, la razón más profunda de cada tema que trata.

De este modo, la Dialéctica se convirtió en un método dentro de la filosofía griega y se consolidó como una forma de transmitir conocimiento entre maestros y alumnos. La obra insigne de Platón, La República junto con todos sus otros diálogos, cuyo protagonista es su maestro Sócrates, muestran la gran pericia de Platón en el dominio de este arte. Para finalizar, diremos que la dialéctica posee la peculiaridad de conseguir un distanciamiento respecto del lenguaje desde el lenguaje mismo. Con ello se evita el enunciado doctrinal tan propio de la ciencia. Si las formas de expresión de la filosofía se apartan de esa forma de enunciado doctrinal es, precisamente, porque parten de ella. Así lo comprendió Platón al hacer su obra.

Con la dialéctica, el autor es quien dice todo, pero a la vez no dice, sino que pone en boca de otro sus ideas. Por ello, el autor y el lector del diálogo se acercan en distancia dialógica. Esta última es una herramienta que se impone por la dificultad que entraña decir aquello que se quiere decir; esa dificultad estriba en el carácter evasivo de lo que se pretende mencionar. Se trata de mostrar aquello que siempre ya está ahí, sin que sea cambiado.

3.1.1 Galileo y la dialéctica

Es claro que todo el conocimiento de Platón y Aristóteles (maestro y discípulo) traspasó las barreras de la Antigüedad y el Medioevo, llegando hasta la época modernista en que vivió Galileo. Sabemos muy bien que Galileo no aceptaba el Aristotelismo en su gran mayoría. Pero si el científico italiano hubiese sido platónico, seguramente no hubiese

superado el nivel de la física aristotélica. En efecto, él trabajaba empíricamente con bolas, botellas, líquidos, planos inclinados y construía cosas increíbles con sus propias manos. Por otra parte, Platón, en su diálogo *La República,* mostraba desprecio por los obreros del gobierno y los artesanos. Desde este punto de vista, es imposible ver un platonismo en Galileo.

Sin embargo, lo que si podemos decir es que el platonismo marcó demasiado a Galileo en el arte dialéctico y mostraremos cómo sus obras tienen toda la inspiración del logos y la estructura dialéctica del antiguo filósofo griego. Se sabía que el filósofo y matemático de la corte del duque de Toscana poseía una gran retórica (el arte de persuadir en la conversación) y, unida con la dialéctica platónica la convirtió en su principal estrategia didáctica; en ocasiones incorpora la mayéutica[41]. A continuación, con base en las obras de Platón y Galileo, mostraré dichas similitudes.

La dialéctica es usada por Galileo en su obra *El Ensayador (Il Saggiattore)*, pues esta magistral obra literaria encarniza una agitada discusión entre un interlocutor llamado Lotario Sarsi (que es un pseudónimo de Orazio Grassi), el cual es un matemático y sacerdote jesuita que escribió un tratado sobre los cometas. El otro interlocutor es el propio Galileo (aunque no pone de manifiesto su nombre y se escuda en un alumno suyo llamado Mario Guiducci), quien presenta una oposición totalmente contraria a Sarsi y, mediante la razón, pretende demostrar que los cometas no son objetos celestes, sino defectos de vapores expedidos por la propia Tierra. El único “defecto” de la obra, aparte de la falsa tesis de Galileo, es que buscó ridiculizar, sin escrúpulos, al personaje que representa al padre jesuita.

Las obras insignes de Galileo, *Diálogos sobre los dos sistemas máximos del mundo* y *Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias,* tienen a tres personajes: Simplicio, Sagredo y Salviati. Recordemos que Salviati representa a Aristóteles, Sagredo a un hombre que con la razón busca la verdad (eso es la dialéctica de Platón) y Salviati que muestra una nueva manera de ver la naturaleza. La temática del diálogo, es la movilidad de la Tierra, postura que defiende Salviati y que podemos decir triunfa en la obra. Sin embargo, podemos ver que es la misma estructura de la República de Platón, donde la temática es la justicia defendida por Sócrates (el maestro, papel tomado por Salviati), en contra de Trisímaco, un sofista de la opinión de que “la justicia solamente correspondía a la ventaja del más fuerte”, en clara oposición de Sócrates (el papel de Trisímaco lo hace Simplicio en la obra de Galileo) y auspiciado por dos interlocutores Glaucón y Adimanto de Colito, que con la razón buscan encontrar “la verdadera justicia” (que es el papel de Sagredo). Se repite la misma estructura en *Discursos y Demostraciones sobre dos nuevas ciencias*, pues son los mismos personajes, solo que ahora hay otros temas de debate tales como, la resistencia de los cuerpos, la caída de los graves, la inercia galileana y el movimiento de proyectiles.

Finalmente, los diálogos y los discursos tienen otra similitud con el Teeteto de Platón. Este diálogo (el cual trata de la naturaleza de la ciencia) está estructurado en tres partes: el saber científico es percepción (151d - 186e); el saber científico es opinión verdadera (187a - 201c) y el saber científico es opinión verdadera acompañada de una explicación

[41] Método usado por Sócrates, maestro de Platón, que significa “El arte de hacer nacer o arte de dar a luz al humano pensador”. Sócrates tomó el término de la medicina que originalmente significaba “El arte de hacer nacer bebés” y lo reorientó al ámbito filosófico.

(201c - 210b). Sócrates termina por reconocer que ninguna de las tres definiciones es adecuada, lo que concluye el diálogo en una paradoja irresoluble (aporía). Y a pesar de ello, Galileo toma estas tres posiciones para estructurar sus personajes, pues la percepción, la representa Simplicio, la opinión verdadera la representa Sagredo y la opinión verdadera acompañada por una explicación (la concepción científica de Galileo) es representada por Salviati.

En la enseñanza de las ciencias naturales, podemos usar la dialéctica materialista, *"ya que es la única que nos brinda la analogía y, por tanto, el método para explicar los procesos de desarrollo de la naturaleza, para comprender, en sus rasgos generales, sus nexos y el tránsito de uno a otro campo de investigación"*[42]. La dialéctica orienta los esfuerzos creadores hacia el estudio de los procesos de cambio y desarrollo, de intervinculación y transformación recíproca de las contradicciones en los fenómenos de la naturaleza.

Todo esto permite descubrir con la profundidad máxima la esencia de las cosas y procesos estudiados. La comprensión de los vínculos universales de las cosas y de su desarrollo presupone la posesión del método científico, de las categorías lógicas, del pensamiento teórico, sin lo cual resulta imposible comprender dichos vínculos y su desarrollo. Esto sumado a la ausencia de la competencia argumentativa en nuestros jóvenes, es decir, la capacidad de construir un punto de vista y defenderlo a partir de un cúmulo de argumentos que desencadenen en una conclusión, con el propósito de persuadir a sus interlocutores de su verdad. En este orden de ideas se busca que los estudiantes puedan hacer uso de la dialéctica, convirtiendo a la dialéctica en una excelente alternativa para comprender las ciencias naturales y específicamente la cinemática y la ley de la inercia galileana.

3.2. El estudio de la naturaleza y la epistemología de Galileo Galilei

El libro *El Ensayador (Il Saggiatore)* de Galileo es muy reconocido hoy en día entre la comunidad de físicos y docentes de física por estas palabras:

"La Filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir el Universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático y sus caracteres son triángulos, círculos u otras figuras geométricas, sin los cuales es imposible entender una sola palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto"[43].

Ante todo, observamos una obsesión de Galileo por el tratamiento matemático de las cuestiones físicas a diferencia de Aristóteles, pues piensa, en contra de éste, que la realidad física no sólo es expresable matemáticamente, sino que las matemáticas son el único lenguaje con el que podemos entenderla.

[42] F. Engels. Dialéctica de la naturaleza, 1955, pág. 22
[43] GALILEO GALILEI, El Ensayador. Pg 63

¿Quién tiene razón: los aristotélicos o Galileo? Parece que, a primera vista, los aristotélicos: de hecho, en la Naturaleza, no hallamos nada que sea realmente "matemático", es decir, que se ajuste "exactamente" a los conceptos matemáticos (figuras geométricas, relaciones y leyes numéricas, etc). Una esfera de bronce, por ejemplo, por muy pulida que sea, nunca tocará al plano por un solo punto, tal como exige el concepto geométrico; el plano nunca será tan liso que pueda darse sobre él un movimiento "exactamente" rectilíneo, etc. E incluso suponiendo que se pudieran llegar a fabricar objetos con estas cualidades siempre serían artificiales, pues en la Naturaleza no se dan: el mundo sublunar es el reino del más y el menos, tal como afirmaban los aristotélicos. Además, las cualidades naturales no son medibles, pues no es posible medir los colores, los olores, los sonidos etc. Si entendemos que el conjunto de todas estas cualidades sensibles son las propiedades de la naturaleza, les estamos dando razón a los aristotélicos; pero es ahí donde Galileo empieza a cambiar el mismo concepto de naturaleza. Ve que muchas de estas cualidades no son realmente propiedades de los objetos, sino de nuestros sentidos. Esto nos dice Galileo en otro pasaje *del Ensayador:*

"Así pues, que en los cuerpos externos, para excitar en nosotros los sabores, los olores y los sonidos, se requiera algo más que magnitudes, formas, cantidades y movimientos lentos o veloces, yo no lo creo; considero que eliminados los oídos, la lengua y las narices, solo quedan las figuras, los números y los movimientos pero no los olores, ni los sabores, ni los sonidos, los cuales, sin el animal viviente, no creo que sean otra cosa sino nombres." [44]

De este modo, Galileo retoma aquella idea, ya expresada por los antiguos atomistas, de que hay que distinguir entre dos tipos de cualidades: las que se encuentran realmente en los objetos tal como son captadas por nuestros sentidos (figura, tamaño, movimiento y número) y las que sólo están en el sujeto (colores, olores, sonido, etcétera), ya que son el resultado de la manera como los objetos afectan a los órganos sensoriales. Aristóteles creía que todas las cualidades captadas por los sentidos son objetivas, es decir, están en los objetos tal como son captadas. Galileo considera, pues, que la materia sólo posee realmente aquellas propiedades que son cuantitativas, y, por tanto, medibles. Las demás, las propiamente cualitativas, están sólo en nuestros sentidos.

Así pues, las diferencias que se dan entre las distintas clases de seres no provienen de que tengan una naturaleza distinta, aquello que Aristóteles llamaba esencia, sino simplemente de sus propiedades cuantitativas. Así, el peso o gravedad era para Aristóteles una propiedad que poseían sólo ciertos seres, aquellos que estaban hechos principalmente de tierra o agua, o sea, de aquellos elementos que eran "por esencia" pesados, al revés del aire y del fuego que tenían otra cualidad: la ligereza. En cambio, Galileo considera que lo que determina que un cuerpo sea pesado no es ninguna cualidad sino, simplemente, la cantidad de materia: cuanta más en menos espacio, más peso. Por tanto, la gravedad no es una cualidad que poseen ciertos cuerpos y otros no, sino que todos son pesados, y lo único que los diferencia es que unos lo son más y otros menos. Gravedad y ligereza no son, pues, diferencias cualitativas sino cuantitativas.

Galileo llama "esenciales" a estas propiedades cuantitativas por ser las que pertenecen realmente a los objetos, es decir, forman parte de su ser, de su "esencia", en

[44] GALILEO GALILEI, El Ensayador. Pg. 297

contraposición a las cualitativas que sólo están en nuestros sentidos; por tanto, este concepto ya no significa lo mismo que para Aristóteles. A juicio de éste, cada tipo de ser seguía las leyes que determinaba su esencia: así, al éter, por ser perfecto, le correspondía el movimiento circular y a los elementos, el rectilíneo, por lo que no tenía sentido tratar del movimiento en general. En cambio, puesto que para Galileo las propiedades que determinan a los cuerpos son las cuantitativas[45], lo único que diferencia unos movimientos de otros son las proporciones.

Habiendo cambiado el concepto de Naturaleza, es lógico que cambie también el modo de estudiarla. Quizás en el único sitio donde habla expresamente del método a seguir en tal estudio es en una carta a Pierre Carcavy[46] de 1637, donde expone los pasos que deben seguirse. Estos son los siguientes:

1. **Resolución:** es la selección y el análisis de los datos que recibimos de la Naturaleza para quedarnos con los "esenciales". (los cuantitativos, como sabemos).
2. **Composición:** es la construcción de un modelo matemático que relacione estos datos esenciales a través de teoremas o leyes (lo que actualmente se llama hipótesis) y deducción de consecuencias a partir de ellos. Se trata, por tanto, de una construcción mental, pero, según él, cuando la mente funciona correctamente, es decir, "matemáticamente", es capaz de expresar la estructura interna de la realidad que también es matemática. Pero, dado que los teoremas o relaciones matemáticas son potencialmente infinitos, ¿cómo determinar cuáles son aquellos que expresan precisamente el funcionamiento de la realidad? Hay, según Galileo, varios criterios, como el principio de simplicidad (de entre todas las posibilidades hay que elegir la más sencilla). No obstante, en último término, es preciso.
3. **Comprobación Experimental:** comprobar en la experiencia si las leyes formuladas y sus consecuencias suceden en la realidad tal como han sido construidas en la mente. Aquí es donde intervienen las pruebas experimentales. Galileo no entiende el experimento como una pura observación de la realidad, sino como una operación preparada previamente: se trata de la producción de un efecto previsto como una consecuencia de la ley construida en la mente. No obstante, si los resultados del experimento no son los esperados, no hay que desechar rápidamente las hipótesis ya que, según dice, si están bien hechas, "nada pierden de fuerza y valor, de la misma manera que las proposiciones de Arquímedes sobre la espiral no tienen menos valor porque en la Naturaleza no exista un cuerpo al que poder atribuir un movimiento espiral"; tal es la confianza de Galileo en el razonamiento matemático. (Baig, Agustench, 1988)

El experimento, tiene como tal, un papel verificador en el método de Galileo. Esto es llamado MÉTODO APRIORÍSTICO y es una de las formas en que se construyen las ciencias. Las teorías se construyen razonando, en la mente, aunque no de un modo

[45] Aunque un hombre y una encina cualidades distintas, Galileo piensa que éstas no son relevantes o esenciales para la Física.

[46] Es un matemático francés y secretario de la Biblioteca Real de Luis XIV, famoso por su correspondencia con Fermat, Pascal, Huygens, Torricelli, Descartes y por supuesto Galileo,

arbitrario, sino siempre controladas por experimentos. A veces, las teorías deben continuar "a pesar de" y en contra de la experiencia. La teoría galileana del movimiento, es resultado de la aplicación de leyes matemáticas a la naturaleza. Parte de una serie de definiciones, axiomas y teoremas que se pueden demostrar geométricamente, y la única función de los experimentos es ratificar tales razonamientos.

3.3 Lineamientos del Ministerio de Educación Nacional, modelos en enseñanza de las ciencias naturales y la multimedia

3.3.1 Lineamientos curriculares

Los Lineamientos curriculares para el área de ciencias naturales y educación ambiental del Ministerio de Educación Nacional, tienen el propósito de señalar horizontes deseables que se refieren a aspectos fundamentales y que permiten ampliar la comprensión del papel del área en la formación integral de las personas, revisar las tendencias actuales en la enseñanza y el aprendizaje y establecer su relación con los logros e indicadores de logros para los diferentes niveles desde el preescolar hasta la educación media.

Tales lineamientos, en el capítulo correspondiente a Pedagogía y Didáctica y haciendo referencia al papel del laboratorio en las ciencias naturales, dicen lo siguiente:

"Cuando el científico va al laboratorio para hacer un experimento, él sabe ya, o mejor, cree saber, lo que va a suceder. Este señalamiento lo hace Kant en el prólogo de la segunda edición de su Crítica de la razón pura. Llama la atención sobre el hecho de que no es posible conocer sino aquello que la razón ya sabía previamente. El experimento tiene el papel de confirmar o falsear las hipótesis que el científico ha construido sobre la base de sus idealizaciones acerca del Mundo de la Vida (Husserl). El instrumental y la forma como éste se ha dispuesto son ya una consecuencia de esta idealización.

El plano inclinado que pulió Galileo y las esferas de diversas masas que hizo rodar por él mientras contaba los compases que con un instrumento de cuerda podía ejecutar desde el momento en que la esfera se ponía en movimiento hasta cuando tocaba la mesa, eran las condiciones más cercanas a las ideales que podía lograr con aquello que estaba a su alcance. Y ese ideal era permitir el movimiento de esferas de diversas masas sin que actuara sobre ellas algo diferente de la fuerza ejercida por la atracción entre la masa de la tierra y la de la esfera, con el fin de mostrar lo que él ya sabía: que Aristóteles estaba equivocado al afirmar que los cuerpos pesados caen más rápidamente que los livianos.

Mediante un plano perfectamente pulido, él estaba idealizando ciertos sucesos del Mundo de la Vida: los objetos que caen. Y era necesario hacerlo así pues los cuerpos cayendo tal como caen las piedras, o el vaso de la mesa o la famosa manzana del árbol, planteaban problemas de medida insalvables para la época. Para poder hallar alguna regularidad expresable a través de relaciones numéricas es imposible, la mayoría de las veces, actuar sobre los sucesos tal como se presentan en el Mundo de la Vida. Es

necesario hacer arreglos cuidadosos para poder establecer aquello que ya se sabe. Es necesario, diría Kant, saber interrogar a la naturaleza para establecer si ella se comporta como previamente se ha determinado que lo hace, apoyándose en buenas razones.

Es así como los experimentos de Galileo, los de Mendel o los de cualquier otro científico fueron diseñados teniendo en cuenta sus conjeturas, sus hipótesis, que no pueden entenderse sino dentro del amplio contexto de su obra científica global: el experimento de Galileo con el plano pretendía poner a prueba la hipótesis de que las esferas aumentarán su velocidad a una tasa constante y que esta tasa sería independiente de su masa; en otras palabras, Galileo pensaba que una esfera de gran masa aumenta su velocidad a la misma tasa que lo hace una de muy poca masa. Y esta hipótesis era congruente con toda una forma de entender el movimiento de los cuerpos en el espacio y, lo que es más importante, esto era congruente con una filosofía, una cosmovisión del mundo (opuesta a la de Aristóteles) que le daba contexto y la hacía comprensible. Así mismo, Mendel antes de hacer sus experimentos con sus plantaciones de guisantes (que por el hecho de hacerlas mediante ciertos arreglos cuidadosamente diseñados, su huerta se convertía en su laboratorio) suponía qué resultados iba a obtener porque ya había construido una teoría que le permitía entender cómo los organismos vivos heredan sus características físicas.

Ahora bien, si los experimentos de Galileo o de Mendel no hubieran concordado con sus conjeturas, ellos hubieran tenido que aceptar que sus teorías eran falsas o equivocadas, al menos en la forma como las habían formulado; habrían tenido entonces que reformularlas o descartarlas de plano". [47]

Como puede verse, los lineamientos del Ministerio de Educación Nacional asumen la interpretación apriorística de Galileo, en vez de la visión de Francis Bacon[48]. Así que la propuesta, de este trabajo, es totalmente acorde con esta visión.

3.3.2 Modelos en enseñanza de las ciencias naturales

La palabra modelo tiene múltiples sentidos, y sobre todo en la *enseñanza de las ciencias.* Tomando la perspectiva de José Antonio Chamizo:

"Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico." (Chamizo, 2010)

En esta definición todas las palabras son importantes:

1. *Las representaciones son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente, ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por si mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes, además lo son de alguien (ya sea una persona, o generalmente de un grupo) que las identifica como tales.*

[47] Lineamientos Curriculares de Ciencias naturales, Disponible en http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf5.pdf

[48] Francis Bacon (1561-1626) es un filósofo inglés considerado el padre del empirismo, es decir, que la interpretación de la naturaleza no se deriva de la autoridad y que el conocimiento es fruto ante todo de la experiencia. Por tanto, es una forma de pensar muy diferente a la de Galileo

2. *Una analogía está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en m y M.*

3. *Se construyen contextualizando: (Chamizo e Izquierdo, 2005) remite a un tiempo y lugar históricamente definido lo que además enmarca la representación; cierta porción del mundo indica su carácter limitado, los modelos m son respecto al mundo M parciales.*

4. *Un objetivo específico, establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar, y sobre todo predecir. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias (Bailar-Jones, 2002), pero que en determinados casos aún sin poder del todo explicar una buena parte de su prestigio radica en predecir."*

Con la definición y características anteriores, podemos mencionar aquellos aspectos que, permiten identificar los modelos en ciencias naturales

1. Los modelos de acuerdo con la analogía.
2. Los modelos de acuerdo con su contexto.
3. Los modelos (m) de acuerdo con la porción del mundo (M) que modelan. (CHAMIZO, 2009)

Esto se muestra en el siguiente esquema

Figura 3-1: Clasificación de los modelos

Vamos a precisar un poco más sobre los tipos de modelos:

1. **Clasificación de los modelos de acuerdo a la analogía:** las analogías pueden ser mentales, materiales y matemáticas.
   Los modelos mentales son representaciones construidas por nosotros para dar cuenta de una determinada situación. Son los precursores de las conocidas

"ideas previas" (ideas previas, Kind, 2005) o concepciones alternativas y en ocasiones pueden ser equivalentes. Son inestables, al ser generados en el momento y descartados cuando ya no son necesarios, cognitivamente serían modelos de trabajo desechables.

Los modelos materiales son a los que tenemos acceso empírico y han sido construidos para comunicarse con otros individuos. Los modelos materiales son los modelos mentales expresados (Gilbert, Boulter and Elmer, 2000) a través de un lenguaje específico, como el de la química, (Hoffmann and Lazlo, 1991), objetos en dos dimensiones, por ejemplo un mapa, (Tversky, 2005) o tres dimensiones, maquetas diversas, (de Chadarevian and Hopwood, 2004, o los llamados 'modelos moleculares', (Francoeur, 2001) y cuyo más famoso ejemplar es el de la molécula de ADN formulado por Watson y Crick. También lo son los modelos experimentales (Pérez Tamayo, 2005) como las ratas macho que se utilizan de manera estandarizada en las investigaciones biomédicas para modelar enfermedades o la acción de posibles remedios para las mismas.

Los modelos matemáticos constituyen las leyes que son la manera más común, que no es la única, de explicar en la tradición científica (Suppe, 1989) y sobre esto ya el filósofo R. Giere adelantó la posibilidad de tener ciencia sin leyes (1999). La ecuación PV = nRT es un ejemplo de un modelo matemático que nos permite explicar el comportamiento de los gases "ideales". Por lo demás, los modelos matemáticos pueden formularse no solo lingüísticamente (con algún lenguaje matemático, ecuaciones) sino también mediante signos, diagramas, gráficas u objetos tridimensionales (Mehrtens, 2004).

2. **Clasificación de los modelos de acuerdo al contexto:** pueden ser a su vez didácticos o científicos dependiendo de la comunidad que los justifique y el uso que se les dé. Aquí es muy importante el momento histórico en el que los modelos son construidos. Puede decirse, en general, que los modelos más sencillos son los más antiguos.

   Los modelos científicos tienen la característica de que, el conocimiento científico se presenta como objetivo y confiable, inclusive si es algo novedoso e independientemente de la forma en que sea entendida la ciencia. La principal forma de comunicarlo es a través de artículos en revistas científicas o sitios web destinados para tal fin y con alta credibilidad. Uno de los ejemplos más famosos de lo anterior, fue cuando en 1687 el físico Isaac Newton publicó en sus Principia, un modelo basado en una fuerza universal llamada gravedad. Dicho modelo, fue aplicado en 1695 por Edmund Halley, astrónomo y amigo de Newton para explicar el movimiento de los cometas.

   Los modelos didácticos son aquellos que corresponden a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia tal cual de los científicos, sino una reconstrucción de ésta, al mismo tiempo que tampoco es un reflejo de los saberes cotidianos de los alumnos. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica (Chevallard, 1997), que es la transformación del conocimiento científico en un conocimiento posible de ser enseñado en un aula específica a unos alumnos particulares. Como ejemplos de estos modelos tenemos, las ilustraciones que se muestran en los libros de texto, los dibujos y esquemas que hacen tanto alumnos como docentes.

3. **Clasificación de los modelos de acuerdo a la porción del mundo (M) que modelan:** lo que podemos denominar como "mundo real" (M) es tan extraordinariamente complejo, **en cada idea** (la manera de una comunidad particular de comprender la naturaleza), **en cada objeto** (cómo un automóvil, o un pájaro), **en cada fenómeno** (algo que sucede y que es percibido, como la digestión o la lluvia), **en cada sistema** (el conjunto de cosas que se relacionan entre sí y funcionan juntas integralmente, como algunos mapas del cuerpo humano o el sistema solar), que influyen tantas y tan diversas variables que para intentar entenderlo los relacionamos con sus respectivos modelos (m). Resumiendo, a lo largo a lo largo de su historia las diversas sociedades humanas han construido varios modelos m diferentes (m_1, m_2, m_3, etc) para representar una determinada porción del mundo M. (Chamizo, 2010)

La última clasificación de los modelos, nos deja algo muy claro. Aunque la tipología es aplicable, a todos los modelos científicos, no significa que debamos "encasillarlos" en una de estas categorías o que pertenezcan a varios aspectos de una misma. Así hay modelos materiales didácticos sobre un objeto (el átomo de Bohr como se muestra usualmente en los libros de texto para educación básica); materiales didácticos sobre un sistema (las maquetas del sistema solar); matemáticos científicos sobre un sistema (como las publicadas originalmente sobre los gases, Edwards and Shupe, 1930); mentales científicos sobre un proceso o sistema (algunas de las indicadas en Nerssesian, 2007, sobre la construcción de nuevos modelos por Galileo, Newton, Faraday, Maxwell, Bohr y Einstein) o materiales matemáticos didácticos sobre un sistema, como las simulaciones que se realizan en la enseñanza de la ecología.

3.3.3 Los recursos multimedia

Dentro de la clasificación de los modelos descrita anteriormente, el autor hace una mención especial a un tipo de modelos que no ha clasificado como sigue:

"Las simulaciones y las animaciones (Talanquer e Irazoque, 1990; Harrison and Treagust, 2000; Kozma and Rusell, 2005), son modelos materiales que cambian en el tiempo y se podrían considerar como un tipo mixto de los modelos anteriormente caracterizados una vez que se construyen con una formulación matemática (generalmente resuelta y visualizada en una computadora). Estos modelos materiales matemáticos (es decir doblemente expresados) constituyen la conocida «realidad virtual» presente en los videojuegos de computadora". (Chamizo, 2010)

En efecto, con cada generación nacen nuevas maneras de comunicarse, desde la imprenta, pasando por la televisión, el teléfono, los medios multimedia, las TIC´s hasta las actuales redes de conexión, como las redes sociales y el internet. Recordemos que la comunicación es el eje de la educación y debe usar distintos tipos de lenguaje, desde el científico al cotidiano, desde el verbal hasta el no verbal. Independientemente, de la manera, la misión de todas ellas ha sido comunicar, y la educación es la primera que debe encontrar las maneras de aprovechar estas nuevas formas de hacerlo, para que a su vez permita la construcción de nuevos aprendizajes.

En particular, los dispositivos multimedia y las nuevas TIC´s se convierten en poderosas herramientas comunicativas que a su vez sirven de mediadoras en la construcción y reconstrucción de conocimiento, cuando son soportadas por propuestas didácticas que les permitan realizar la simbiosis entre enseñar-aprender-comunicar (Abella, 2011)

El término multimedia se utiliza para referirse a cualquier objeto o sistema que utiliza múltiples medios de expresión (físicos o digitales) para presentar o comunicar información. Los medios pueden ser variados, desde texto e imágenes, hasta animación, sonido, video, etc. También se puede calificar como multimedia a los medios electrónicos (u otros medios) que permiten almacenar y presentar contenido multimedia.[49]

En particular, los medios como el video y las animaciones interactivas logran desarrollar y mejorar, especialmente en ciencias experimentales (dentro de las cuales está la física), las habilidades cognitivo-lingüísticas tales como la descripción, la explicación y la argumentación.

Los principales tipos de información multimedia son los siguientes:

1. Texto: sin formatear, formateado, lineal e hipertexto.
2. Gráficos: utilizados para representar esquemas, planos, dibujos lineales.
3. Imágenes: son documentos formados por píxeles. Pueden generarse por copia del entorno (escaneado, fotografía digital) y tienden a ser ficheros muy voluminosos.
4. Animación: presentación de un número de gráficos por segundo que genera en el observador la sensación de movimiento. Dicha sensación también es posible de generar cuando un objeto cambia continuamente de posición al transcurrir el tiempo.
5. Vídeo: presentación de un número de imágenes por segundo, que crean en el observador la sensación de movimiento. Incluyen también sonido generalmente. Puedes ser analógicas o digitales y sintetizadas o captadas.
6. Sonido: puede ser habla, música u otros sonidos.

En época de Galileo, el medio más poderoso de difusión para la información y la comunicación era la imprenta, y esta fue uno de los avances dentro del Renacimiento. Pero hoy en día, el proceso de enseñanza-aprendizaje, como forma de difusión, se desarrolla a través de materiales con secuencias didácticas reales que van de la mano con los estudiantes (Badia, Barbera, Coll, y Rochera, 2002).

Esta propuesta en particular utilizará los medios de imágenes (3) y animación (4) y el video (5); este último con el uso del video argumental en la enseñanza de las ciencias, con el fin de comprender y afianzar la temática de la unidad didáctica. Las imágenes estarán hechas en formato jpg que es universal y no tiene tanto peso. Por otra parte las animaciones estarán hechas en el programa Microsoft Power Point que es compatible con cualquier equipo; a diferencia del programa Flash. Finalmente, los archivos de video están en dos versiones mpeg y flv para garantizar que pueda ser visto con los estudiantes.

[49] Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Multimedia

4. Propuesta didáctica

Se propone una unidad didáctica, la cual tiene las siguientes características:

- ✓ Está apoyada en los referentes históricos, epistemológicos, disciplinares y didácticos que se desarrollaron anteriormente, ocho de los cuales son concepciones pertenecientes a Galileo Galilei.
- ✓ Es acorde con los Lineamientos Curriculares del Ministerio de Educación Nacional de Física en Colombia.
- ✓ Incorpora recursos multimedia para una mejor asimilación de los conceptos por parte de los estudiantes.
- ✓ Está basada en un estudio previo hecho a través de dos Pre-Guías aplicadas a estudiantes de grado décimo; considerándose éste en un material de apoyo que permitirá conocer los preconceptos o ideas propias de los estudiantes. Para ver los resultados, análisis y conclusiones de dicho estudio, por favor dirigirse a la sección 5.1 “ANÁLISIS PREVIO DE ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO”, del presente trabajo.

A continuación se hará una breve descripción, de las sesiones que conforman la unidad didáctica. Sin embargo, el contenido en detalle, los pasos y la metodología de cada una de estas sesiones, puede verse en el Anexo A en el cual encontramos el manual para el docente, dirigido especialmente a aquel profesional de la educación interesado en conocer o incorporar a su práctica dicha unidad didáctica. Hay que tener presente que el manual, está complementado con un CD (Anexo F) que contiene las presentaciones en Power Point, los videos y las Guías de Sesión; éstas últimas (Anexo D) están con el fin de que puedan ser impresas para su aplicación al trabajo con los estudiantes.

Con estos precedentes procederemos a describir la propuesta didáctica.

Sesión No. 1: Qué es la posición y el movimiento.

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la gran importancia de identificar un sistema de coordenadas respecto al cual caracterizamos un movimiento.

Conceptos previos: los previos dados por los estudiantes

Materiales: Guía de Sesión No 1, cuaderno de los estudiantes

Descripción: para esta primera sesión se les entrega a los estudiantes la Guía de Sesión No 1, cuyo fin es centrar su atención en identificar un punto de referencia para hablar del movimiento. Dentro de la Guía, se plantean una serie de situaciones que deben ser respondidas una a una. Finalmente, los estudiantes tendrán una interesante lectura del libro de física de Maiztegui-Sábato titulada “Diálogo en un Tren”, en la cual mediante la dialéctica (usada por primera vez en esta unidad didáctica) los estudiantes visualizan la importancia de los sistemas de coordenadas en el movimiento; una vez que hayan hecho dicha lectura, ilustrada en la Figura 4-1, ésta es retornada al docente. Las conclusiones son consignadas por los estudiantes en sus cuadernos y/o Guía de Sesión, que después de ser revisadas y corregidas, serán conservadas por ellos como material de estudio de la unidad.

Figura 4-1: Lectura “Diálogo en un Tren” de Maiztegui-Sábato.

Sesión No. 2: Presentación de la forma dialéctica de Galileo Galilei en su obra y formalización del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivos:

1. Identificar los fenómenos del movimiento a través del conocimiento de las obras de Galileo Galilei y su forma de diálogo.
2. Conocer la forma en que Galileo Galilei define el movimiento uniforme

Conceptos previos: movimiento, posición, coordenadas, sistema de coordenadas.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de Sesión 2, cuaderno de los estudiantes.

Descripción: en esta sesión se van a trabajar dos temáticas; ambas contenidas en la presentación en Power Point GALILEO GALILEI – MOVIMIENTO. Inicialmente, se hace una exposición sobre las generalidades de la obra y la dialéctica de Galileo las cuales pueden ser complementados con aportes propios, tanto del profesor como de los estudiantes. La segunda parte de la presentación (MOVIMIENTO) consiste en una breve exposición de la forma de concebir el movimiento uniforme por Galileo Galilei. Terminada la presentación en Power Point, se entrega a los estudiantes la Guía de Sesión No.2. Las conclusiones son consignadas por ellos en sus cuadernos y/o Guía de Sesión, que después de ser revisadas y corregidas, serán conservadas por los estudiantes como material de estudio de la unidad. La Figura 4-2 muestra algunos apartados de la presentación GALILEO GALILEI así como la de MOVIMIENTO.

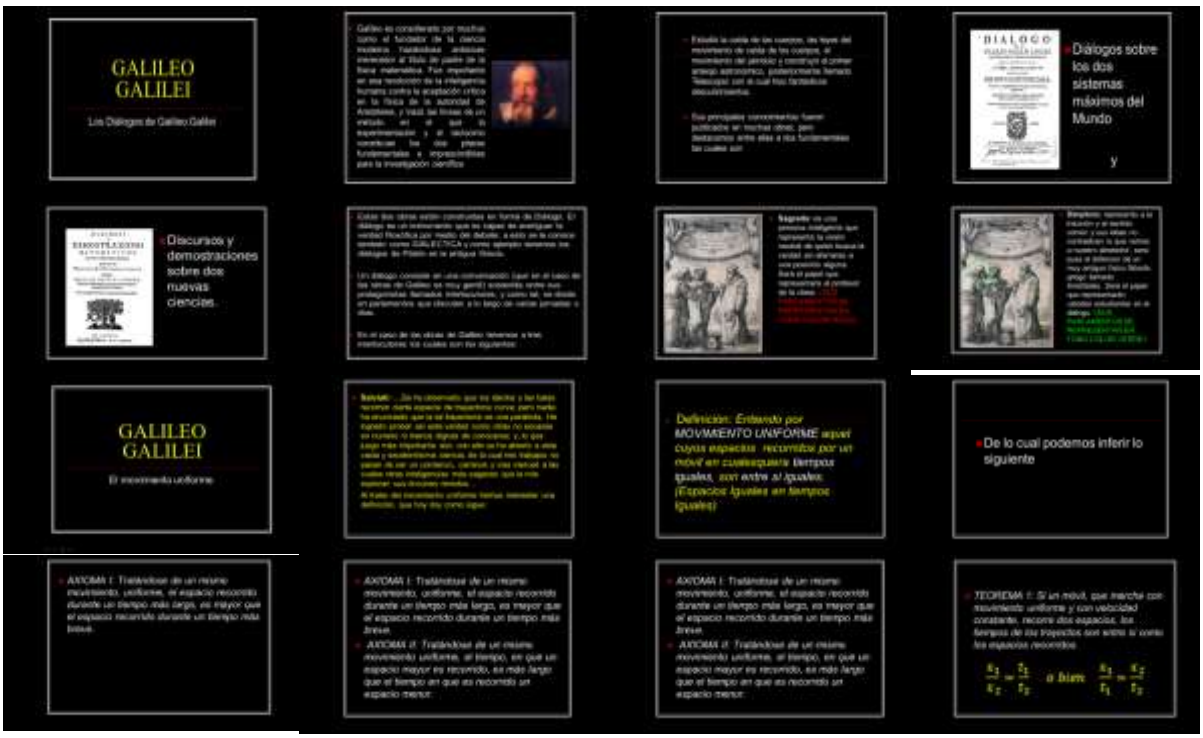


Figura 4-2: Presentación Galileo Galilei – Movimiento.

Sesión No. 3: Medir el movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: identificar y medir el movimiento uniforme con base en lo que formula el Teorema 1.

Conceptos previos: distancia, tiempo, movimiento, movimiento uniforme.

Materiales: Guía de Sesión No.3, metro, cronómetro, calculadora.

Descripción: en esta sesión se lleva al curso completo a un lugar abierto donde puedan caminar y marchar libremente. Después de haberse dividido en grupos y se les entrega la Guía de Sesión No. 3. Los estudiantes medirán tiempos y distancias y los consignarán en la guía con el fin de poder determinar velocidades y otras variables del movimiento uniforme, tal como lo indicaban las expresiones matemáticas derivadas del Teorema 1

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad o\ bien \quad \frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2}$$

Los resultados son entregados al profesor, quien después de revisar y corregir los mismos los retornará en una Sesión posterior. Éstos son conservados por los estudiantes como material de estudio de la unidad.

Sesión No. 4: Sesión de ejercicios movimiento uniforme

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: desarrollar ejercicios teóricos sobre el movimiento uniforme.

Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.

Materiales: Guía de Sesión No.4, cuaderno de los estudiantes, calculadora.

Descripción: esta es una clase teórica, que inicia con la entrega de la Guía de Sesión No.4, la cual contiene ejercicios sobre el movimiento uniforme. El docente asesorará a los estudiantes mientras desarrollan tales ejercicios haciendo las correspondientes revisiones y correcciones. Al final se dará un espacio para aclarar inquietudes y dudas que hayan quedado. Hecho esto, los resultados serán conservados por los estudiantes como material de estudio de la unidad.

Observación: Para la próxima sesión, los estudiantes traerán una consulta sobre los aportes matemáticos y científicos que hizo el pensador Nicolás de Oresme.

Sesión No. 5: El Lenguaje de las gráficas

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la importancia del lenguaje de las gráficas al interior de todas las disciplinas y su posterior uso como una herramienta importante en la comprensión de la cinemática

Conceptos previos: plano cartesiano.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador con parlantes, Guía de sesión No.5, cuaderno de los estudiantes.

Descripción: en primera instancia se realiza un debate de máximo 15 minutos, en torno a lo consultado por los estudiantes destacándose que Nicolás de Oresme representó diferentes cualidades a través de una figura geométrica que las relaciona, convirtiéndose así en precursor del lenguaje de las gráficas. Una vez concluido el debate, se proyectará el documental "MAS POR MENOS: EL LENGUAJE DE LAS GRÁFICAS"**.** Se entrega la Guía de Sesión No. 5 y después de responder las preguntas y ser revisadas y corregidas en sus cuadernos y/o Guía de Sesión, serán conservadas por ellos como material de estudio de la unidad. La Figura 4-3 muestra algunos apartados del documental.

Observación: Para las próximas dos sesiones, deberán traer regla, lápiz y papel milimetrado.

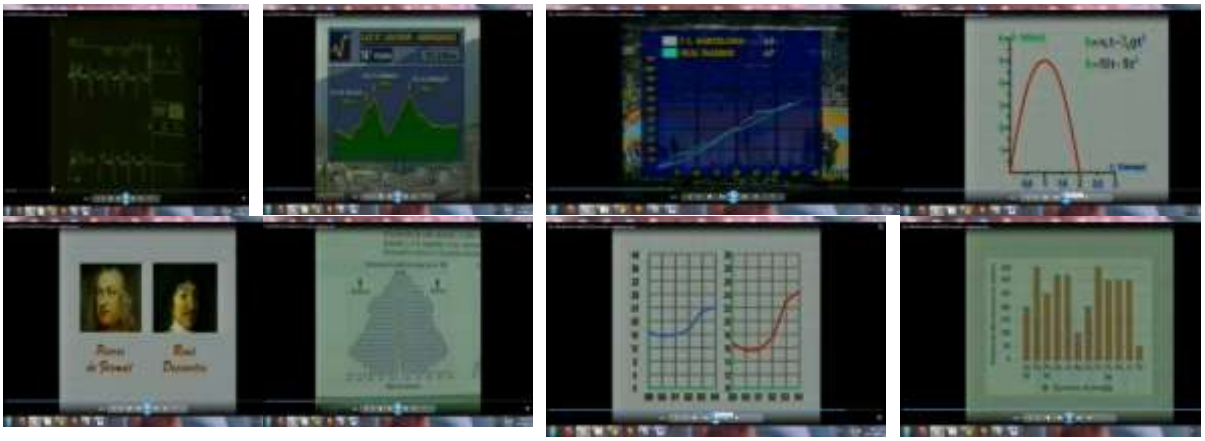


Figura 4-3: Apartados del documental "Mas por menos: el lenguaje de las gráficas".

Sesiones No. 6 y 7: Representación del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivo: representar el movimiento uniforme en gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo
Conceptos previos: plano cartesiano, interpretación de una gráfica, posición y velocidad
Materiales: Guía de Sesión No.6 -7, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado.
Descripción: la representación gráfica de un movimiento y en particular de un movimiento uniforme, permite extraer una información valiosa en su interpretación. Sin embargo, este proceso tan importante, demanda bastante tiempo para que pueda ser debidamente apropiado por parte de los estudiantes y por ello es necesario desarrollar la Guía de Sesión en dos clases seguidas. Se les entrega la Guía de Sesión No. 6 -7 a los estudiantes para ser desarrollada en hojas de papel milimetrado. El docente asesorará a los estudiantes mientras trabajan en las gráficas, cuidando de que las mismas sean dibujadas e interpretadas correctamente y que conservarán una vez terminadas como material de estudio de la unidad. Las Guías de Sesión se devuelven al docente.

Sesión No. 8: El movimiento acelerado uniforme.

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: indagar sobre el concepto del movimiento acelerado.
Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de sesión No.8, cuaderno de los estudiantes.
Descripción: en esta sesión el docente expondrá a los estudiantes la presentación en Power Point titulada EL MOVIMIENTO ACELERADO. Los estudiantes tendrán a disposición el mismo texto de la presentación en la Guía de Sesión No. 8; esto con el fin de que puedan hacer seguimiento y puedan ver la diferencia entre velocidad y aceleración (entendida esta última como cambio de velocidad). Al terminar la Guía de Sesión será devuelta al docente. La Figura 4-4 muestra algunos apartados de la presentación EL MOVIMIENTO ACELERADO

Figura 4-4: Presentación El movimiento acelerado

Observación: Para las próximas dos sesiones nuevamente deberán traer regla, lápiz y papel milimetrado

Sesiones No. 9 y 10: Representación del movimiento acelerado

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivos:

1. Representar el movimiento acelerado uniforme en gráficas velocidad-tiempo.
2. Interpretar adecuadamente las gráficas en situaciones cinemáticas
3. Usar el Teorema 2 para hallar las distancias en un movimiento acelerado uniforme

Conceptos previos: movimiento acelerado, movimiento uniforme, interpretación de gráficas.

Materiales: Guía de Sesión No.9 -10, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado

Descripción: el proceso de asimilación de la representación del movimiento uniformemente acelerado, es análogo al del movimiento uniforme. Por ello, este trabajo es muy similar al hecho en las sesiones 6 y 7 y se requerirá nuevamente de dos sesiones seguidas. Se entrega entonces la Guía de Sesión No.9 -10 a los estudiantes y ellos trabajarán sobre hojas de papel milimetrado (no sobre las Guías). El docente asesorará a los estudiantes mientras trabajan en las gráficas. La Guía de Sesión también contiene algunos ejercicios en los cuales podemos usar el Teorema 2 con el fin de calcular las distancias recorridas en un movimiento uniformemente acelerado. Al finalizar, después de hacer las debidas revisiones y correcciones, el docente se quedará con las Guías de Sesión mientras los estudiantes conservarán las gráficas que hicieron como material de estudio de la unidad,

Sesión No. 11: La inercia galileana I

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: indagar acerca de la idea de la inercia galileana.
Conceptos previos: movimiento uniforme, movimiento acelerado y desacelerado.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador.
Descripción: en esta sesión se hará dialéctica con los estudiantes usando como soporte una animación multimedia hecha en Power Point llamada EXPERIMENTO DEL PLANO. En ella, los estudiantes verán un mundo totalmente idealizado como el de Galileo, en el que hay planos inclinados, esferas perfectas libres de impedimentos concibiéndose un movimiento sin fuerzas, que como sabemos es uniforme. La Figura 4-5 muestra algunos apartados de la presentación EL EXPERIMENTO DEL PLANO

Figura 4-5: Animación el experimento del plano

Sesión No. 12: La inercia galileana II y la caída de los proyectiles (movimiento semiparabólico).

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: reconocer la importancia de la inercia galileana en el movimiento terrestre por medio del ímpetus y familiarizarlos con la caída de los proyectiles.

Conceptos previos: movimiento uniforme, aceleración, movimiento sin fricción.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, cuaderno de los estudiantes.

Descripción: nuevamente haremos uso de la dialéctica, usando ahora la animación multimedia hecha en Power Point llamada EXPERIMENTO DEL NAVÍO. En dicha presentación, los estudiantes partirán de la prueba aristotélica de la torre en contra del copernicanismo hasta llegar a los argumentos usados por Galileo en los que demuestra que en la caída de los cuerpos aparece un movimiento “invisible” (semiparabólico) que es fruto de combinar la caída vertical y el ímpetus. Al final podrá verse que la inercia (estudiada en la Sesión anterior), nos permite notar que al conservarse el movimiento de la Tierra no nos damos cuenta del movimiento terrestre, porque nos movemos con ella. El diálogo en la presentación en Power Point nos lleva a la conclusión que, el movimiento rectilíneo y el semiparabólico son equivalentes porque ambos representan la manera de ver una caída pero desde diferentes puntos de vista (dentro y fuera del navío) con lo cual recordamos lo estudiado en la Sesión 1. En consecuencia estos dos movimientos tardarán el mismo tiempo en llegar al suelo. Al finalizar la exposición las conclusiones son escritas por los estudiantes en sus respectivos cuadernos. La Figura 4-6 muestra algunos apartados de la presentación EL EXPERIMENTO DEL NAVÍO.

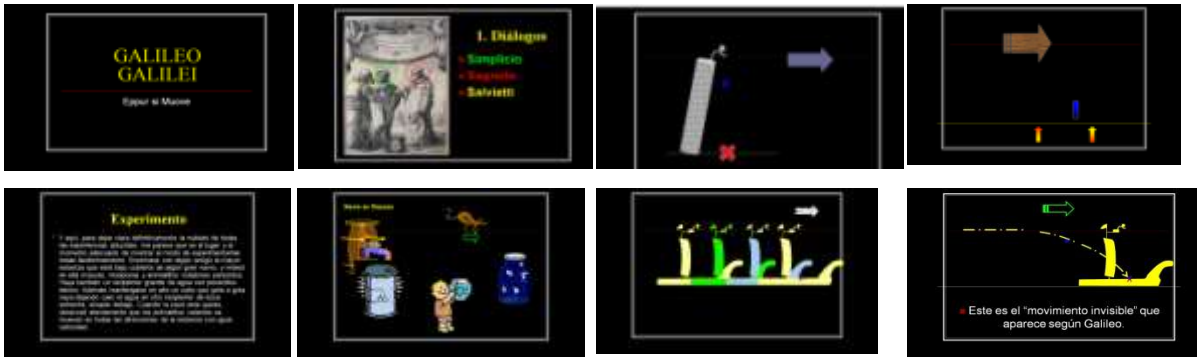


Figura 4-6: Animación el experimento de la nave

Sesión No. 13: Repaso final de la unidad.

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: repasar todos los conceptos vistos en la unidad didáctica mediante un video

Conceptos previos: movimiento uniforme, aceleración, movimiento sin fricción, inercia, ímpetus, conservación del movimiento, gráficas cinemáticas.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador con parlantes.

Descripción: la presente sesión pretende repasar todos los conceptos vistos a lo largo de la unidad didáctica a través de un video. Sin embargo, antes de proceder a hacerlo se llevará al curso a un espacio abierto donde se verá empíricamente que un cuerpo en movimiento vertical y uno en movimiento semiparabólico caen al mismo tiempo (¡para sorpresa de todos!). Hecho esto, se procederá a mostrar el video "GALILEO EL ARTE DE LA CIENCIA CAPÍTULO 1: EL TELESCOPIO" y al final se abrirá un espacio para aclarar dudas o inquietudes que hayan quedado en los estudiantes. La Figura 4-7 muestra algunos apartados de dicho documental.

Figura 4-7: Apartados del video Galileo el arte de la ciencia Capítulo 1: El Telescopio.

5. Resultados

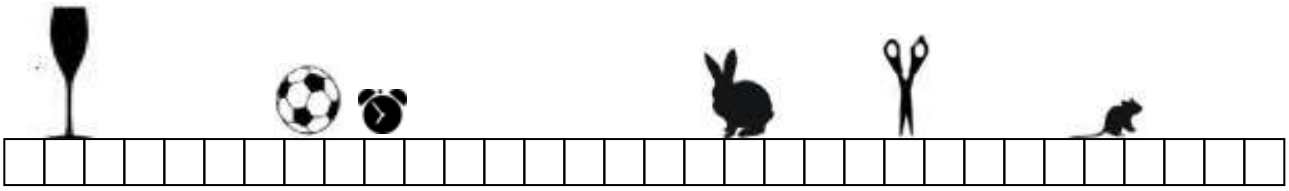
La propuesta incluyendo las Pre-Guías fueron aplicadas a estudiantes del grado 1002, el cual consta de 36 estudiantes, pertenecientes a la sede A del Colegio IED Colombia Viva, ubicado en la Calle 50 D sur 3-08 Este, Barrio Bochica. El colegio pertenece a la UPZ 55, de la localidad 18 Rafael Uribe Uribe.

5.1 Análisis previo de estudiantes de grado décimo.

Para llevar a cabo este estudio y con el propósito de recoger información, se aplicaron dos Pre-Guías (Anexo B) sobre los preconceptos que los estudiantes poseían respecto a identificar la posición de un cuerpo y caracterizar su movimiento. Se aplicaron de manera anónima a 36 estudiantes del grado 1002 J.M del Colegio I.E.D Colombia viva como habíamos mencionado en el desarrollo de la propuesta. Estas Pre-Guías contienen preguntas abiertas que nos permitieron generar unas categorías cualitativas, que a su vez derivaron orientaciones encaminadas hacia la propuesta.

Procederemos a mostrar dicho análisis a continuación.

PRE-GUÍA No.1. ESTABLECER LA POSICIÓN DE UN CUERPO



1. Al mostrar un dibujo como en la figura y preguntar por la posición que ocupan, los estudiantes tienen las siguientes concepciones

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Usaron como referencia los números positivos ubicando como primer número al cero.	31	86%
Presentaron dificultades para ubicar las cosas, debido a que no tenían buenos niveles en sus cursos previos de matemáticas.	3	8%
Usaron como referencia otros puntos diferentes, generando números diferentes a los positivos.	2	6%
Total	36	100%

Tabla 5-1: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (I)

Podemos ver que los estudiantes en su gran mayoría (86%) tienen un punto de referencia equivalente a la recta numérica de los números naturales, ubicando a la copa en 20 cm, al balón en 80 cm y así sucesivamente. A pesar de pasar por casi cuatro años estudiando los números enteros, se les dificulta concebir a primera vista en su cotidianidad los enteros negativos, y solo "sobrentienden" a los positivos.. Solo un 6%, tomó otro punto de referencia y tenía claro que la ubicación de las cosas dependía de dónde estaría ubicado ese punto de referencia. Finalmente, hubo 3 estudiantes que tienen problemas en tales concepciones pues las respuestas que dieron eran incoherentes, evidenciando serias dificultades en sus cursos previos de matemáticas.

2. Posteriormente, se les fijó un marco de referencia (con el 0 en el despertador) para que ubicaran nuevamente los objetos. También tenían un ejercicio en el cual, tenían que encontrar la posición exacta de unos alumnos dentro de un salón bajo unas instrucciones muy precisas. Al interrogar sobre estos ejercicios, obtuvimos las siguientes categorías

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Reconocieron la importancia de haber asignado una referencia del cero.	22	61%
Asumieron en el primer ejercicio que todas las ubicaciones eran positivas.	6	17%
Se dieron cuenta de que no es igual pero no consiguieron explicar porqué.	4	11%
Presentaron de nuevo dificultades para ubicar las cosas, debido a que no tenían buenos niveles en sus cursos previos de matemáticas.	3	8%
Mencionaron que las ubicaciones eran iguales pero varia el punto de vista en el primer ejercicio.	1	3%
Total	36	100%

Tabla 5-2: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (II)

33 de los 36 estudiantes (92%) reconocen que al fijar un cero como referencia (en el despertador) y un tablero que les señalaba claramente quien era el primero de la fila, fue muy fácil ubicar acertadamente a los objetos (con números positivos y negativos) y a los

alumnos (instrucciones bien claras, según lo expresaron ellos). Un 17% asumieron que el cero estaba ubicado dos unidades a la izquierda de la copa en el primer ejercicio y un 11% se dieron cuenta de la diferencia de los resultados aunque no lograron explicar el porqué; empero, todos ellos desarrollaron correctamente ambos ejercicios. Los estudiantes con dificultades (8%) tampoco pudieron desarrollar estos ejercicios. Finalmente, es interesante ver la respuesta dada por un estudiante para el cual las ubicaciones eran iguales solo que el punto de vista (punto de referencia) que se había tomado en el primer ejercicio era diferente; esto revela que dicho estudiante tiene una idea más cercana a lo que es el sistema de referencia desde el punto de vista de la física clásica.

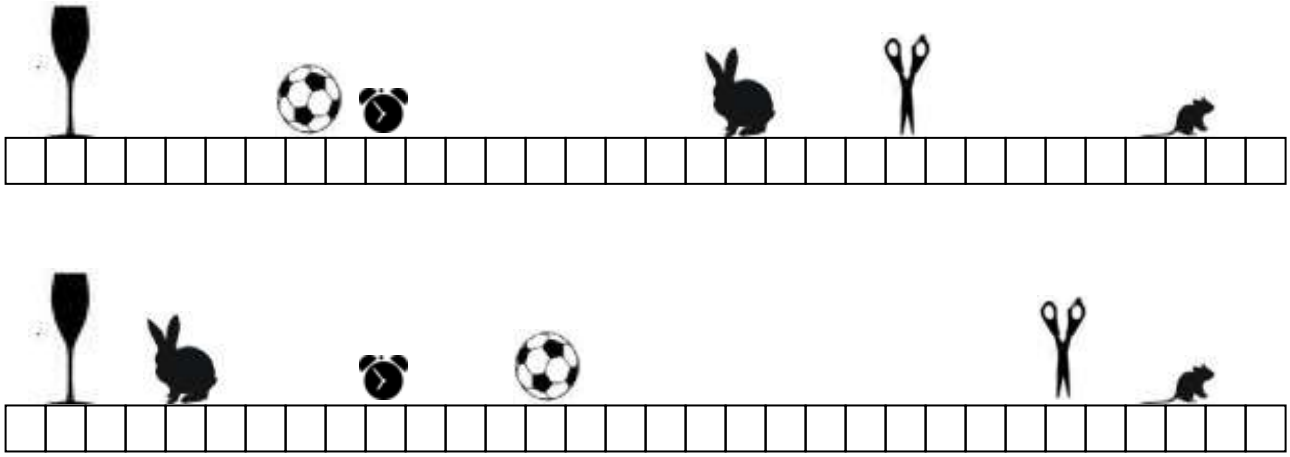
3. Finalmente, al preguntar a los estudiantes sobre los aspectos a tener en cuenta para poder dar correctamente la ubicación de algo las respuestas dadas fueron clasificadas en las siguientes categorías

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
En dar bien las instrucciones en la guía.	21	58%
En hallar el punto de inicio para después hallar las medidas adecuadas.	6	17%
En usar el sentido común y seguir bien las instrucciones que se dan.	4	11%
NS/NR.	3	8%
En ubicar primero las coordenadas y con base en ellas ubicar bien los puntos.	2	6%
Total	36	100%

Tabla 5-3: Concepciones de los estudiantes respecto a la posición (III)

Se puede apreciar que los estudiantes en su gran mayoría (58%) siguen las instrucciones de la pre-guía aunque no comprenden aún que las instrucciones que ellos llaman “bien dadas” han sido planteadas teniendo un punto o sistema de referencia bien determinado, y por ello desconocen la relevancia de éste en la descripción de los fenómenos. Inclusive hay un 11% adicional (en total 69%) que agregan un “sentido común” al seguimiento de las instrucciones de la guía, lo cual denota que no reconocen aún la importancia del punto o marco de referencia. Sin embargo, hubo 2 estudiantes, que incorporaron en sus respuestas palabras muy propias de la física (coordenadas, sistemas de coordenadas). Esto es notable con respecto al resto del grupo para este par de estudiantes, teniendo en cuenta que en el momento de aplicar la Pre-Guía, ninguno del curso había tenido seguramente un curso formal de física en el que se les mostrará la vinculación de estos conceptos matemáticos con los fenómenos naturales. Concluimos diciendo que hay un 8% del curso que no sabe ni responde a la inquietud planteada.

PRE-GUIA No.2 LAS COSAS SE MUEVEN Y CÓMO



1. Inicialmente, la Pre-Guía mostraba los dos dibujos anteriores a los cuales los estudiantes dieron las siguientes respuestas las cuales dieron estas categorías

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Vieron cambios de sitio en los dibujos	26	72%
Además de ver los cambios de sitio, dedujeron que necesariamente hubo movimiento de algunos de ellos mientras los otros permanecieron quietos	9	25%
Consideraron que aunque conservaron su sitio, no es seguro que permanecieran quietos porque se pudieron haber movido y después volver al sitio en que se encontraban.	1	3%
Total	36	100%

Tabla 5-4: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (I)

Es interesante que aunque todos vieron cambios en la posición de los objetos, solo un 25% (9 estudiantes) pudo indagar directamente que se trataba de un movimiento. Esto no quiere decir necesariamente, que los demás no pensaran en dicha posibilidad, pero lo que destaca a estos 9 estudiantes que escribieron manifiesta esta opción es que conciben al movimiento como una causa segura del movimiento de las cosas. En este sentido, es relevante la respuesta del estudiante que afirma que no hay seguridad de que algunos permanecieran quietos porque se pudieron haber movido y después volver al sitio en que se encontraban. En este último, se ve que concibe de alguna forma que el movimiento, no solamente está vinculado con cambios en una línea sino también como dichos cambios se relacionan respecto a un intervalo de tiempo, que para él fue posiblemente largo en esta situación.

Adicionalmente se les pregunta a los estudiantes, que cómo pueden identificar que algo se está moviendo a lo cual responden lo siguiente

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Cuando cambia de posición respecto a donde se encontraba	11	31%
Cuando desaparecía respecto al lugar en que estaba antes	9	25%
Cuando existe un desplazamiento	5	14%
Está asociado a factores biológicos tales como si se trata de seres vivos y no vivos o bien a la experiencia del cerebro humano para identificar movimientos.	5	14%
Cuando en diferentes tiempos encontramos que está en diferentes posiciones.	4	10%
Cuando cambia de posición respecto a su lugar de origen	2	6%
Total	36	100%

Tabla 5-5: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (II)

Podemos ver que, en cuanto a sus respuestas sobre la caracterización del movimiento, las respuestas son bastante variadas. Antes que nada hay que aclarar que, en la Pre-Guía No. 1, la palabra que se utilizó siempre fue **ubicación**. Pero para esta guía, los estudiantes en sus respuestas usan la palabra **posición**, observándose que ya hubo una apropiación de un concepto propio del lenguaje científico.

Hecha esta aclaración, puede verse que las tres primeras concepciones (Cambio de posición, desaparecer y desplazamiento) que en suma representan el 70%, están bien aunque revisándola con cuidado pueden llegar a representar ambigüedades en los estudiantes. Se habla de cambio de posición pero sin referirse a ningún punto o marco de referencia. El movimiento no necesariamente tiene que ver con desaparecer (es similar a la idea de cambio en Aristóteles con respecto a la cantidad) y además usan el término desplazamiento (pero no visto como un cambio de posición). Vemos también que incluso algunos indican que el movimiento depende de “la naturaleza” de lo que se está preguntando, por ello era natural que el conejo, el balón (por la patada de alguien) o las tijeras (estaban inestables y se rodaron) se movieran mientras era difícil concebirlo para la copa o el reloj despertador[50]. En este grupo también hay quienes argumentan que el cerebro humano ya está familiarizado, haciendo carente de sentido la pregunta, pues la experiencia humana ya es capaz de distinguir los movimientos. Finalmente, encontramos que un 16% del grupo tiene una visión del movimiento más cercana a lo que es en la física clásica concibiéndolo como un cambio de posición mientras transcurre el tiempo o un cambio de posición respecto al origen; en este último se tiene en cuenta que el movimiento está relacionado con un punto o sistema de referencia.

[50] Algo muy similar a como lo interpretó Jean Piaget en su trabajo The Child’s Conceptions of Movement and Speed.

2. Ahora cuando se pregunta a los estudiantes sobre lo que comprenden por velocidad obtuvimos las siguientes categorías para sus respuestas

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
La velocidad es la capacidad que se tiene para hacer un movimiento	12	33%
La velocidad es una rapidez	9	25%
La velocidad es la potencia que se hace para que algo se mueva	4	11%
La velocidad es una aceleración	4	11%
La velocidad es un tiempo	3	8%
La velocidad es una distancia	1	3%
La velocidad es un impulso	1	3%
La velocidad depende del medio (aire, tierra)	1	3%
La velocidad es una relación de la forma Espacio/Tiempo	1	3%
Total	36	100%

Tabla 5-6: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (III)

Al igual de la forma de medir o dar cuenta de esa velocidad

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Se mide con algún tipo de instrumento	10	28%
Se mide con el tiempo	9	25%
Se mide con la distancia	8	22%
Se mide determinando en cuanto tiempo se mueve de un lugar a otro.	5	14%
NS/NR	4	11%
Total	36	100%

Tabla 5-7: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (IV)

Vemos de la tabla 5-6 que la palabra “velocidad”, en el contexto de los estudiantes la asocian como sinónimo de tiempo, distancia, impulso, aceleración, potencia etc…, cada una de las cuales tiene un significado propio dentro de la física. Es curiosa la respuesta de un 33% del grupo que asocia a la velocidad como “la capacidad de efectuar un movimiento”; ¿Qué significaría capacidad en su medio? sería un ejercicio interesante investigarlo, pero está por fuera de los objetivos de la presente propuesta. Llama también la atención la respuesta del estudiante que indicó que la velocidad depende del medio, ya que para él un helicóptero va más rápido que el más rápido de los automóviles pues éste va sobre el aire mientras el automóvil va sobre la superficie terrestre; por tanto para este estudiante al hablar de velocidad tiene que indicársele también sobre que medio se está moviendo el objeto considerado. Un solo estudiante concibe la velocidad como una

relación entre espacio y tiempo, inclusive se toma el trabajo y de hecho, lo hace correctamente indicando que la velocidad del ratón es de 50 cm/s. (Ejercicio 6)

De estos conceptos de velocidad se siguen las maneras en que se les ocurre medir la velocidad o comparar velocidades de distintos objetos, dichas medidas están basadas principalmente en la comparación de distancias y tiempos como se ve en la Tabla 5-7. Un 14% de los estudiantes relaciona las anteriores magnitudes determinando en cuanto tiempo se mueve de un lugar a otro. Es de destacar que entre los diez estudiantes que medirían la velocidad con instrumentos especializados (velocímetros, tacómetros o similares) pero que en el momento de responder la pre-guía no recordaban el nombre del instrumentos. Los otros 3 dijeron que usarían metros y cronómetros aunque seguramente no serían conscientes de esa medida, pues no podrían relacionar esto y solo obtendrían datos de tiempos y longitudes más no de velocidades como tal.

4. Las preguntas 6 y 7 estuvieron enfocadas a revisar el concepto de aceleración que tenían los estudiantes a lo que respondieron las categorías de la Tabla 5-8

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
No hay aceleración en el movimiento del ratón	14	39%
NS/NR	12	33%
Existe aceleración en el movimiento del ratón	9	25%
No se puede saber porque no se ve el momento en que el ratón estuvo quieto al inicio de todo.	1	3%
Total	36	100%

Tabla 5-8: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (V)

Al igual de la forma de medir o dar cuenta de ese cambio de velocidad

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
Existe aceleración en el movimiento del conejo	17	47%
La aceleración va aumentando en el movimiento del conejo	12	33%
NS/NR	7	19%
Total	36	100%

Tabla 5-9: Concepciones de los estudiantes respecto al movimiento (VI)

Se les plantearon a los estudiantes dos movimientos; uno uniforme de un ratón (de valor 0.5 m/s) y uno acelerado de un conejo (de valor 0.2 m/s^2) como se muestran en las figuras de las guía. Al observar la primera tabla, parecerá que los estudiantes comprenden que en el movimiento uniforme no existen aceleraciones. Sin embargo, llama la atención los porcentajes de 33%, 25% y 3% que en suma da un 61% de estudiantes que no son claros respecto a una posible aceleración del ratón. La respuesta

está en la tabla 5-9 en la cual vemos, que de la mano de sus concepciones de velocidad, piensan que al aumentar la velocidad del conejo (lo cual es obvio de los dibujos) hay un aumento de la aceleración. Por tanto vemos que no hay una clara diferenciación entre lo que es velocidad y lo que es aceleración.

4. Para concluir, se ilustró un balón de fútbol que iba con un movimiento uniforme (de valor 0.7 m/s) y se les pidió que compararan las velocidades de dicho movimiento con las ratón y el conejo. Igualmente se les preguntó sobre las fuerzas que actúan sobre ese balón en su movimiento. Las respuestas de los estudiantes las podemos ver en estas categorías

Concepciones de los estudiantes	Frecuencia	Porcentaje
La fuerza con que se pateó actúa sobre el balón	29	81%
No hay fuerzas actuando sobre el balón	4	11%
La fuerza depende de la velocidad impresa al balón	1	3%
Depende de qué se concibe la fuerza	1	3%
El balón se mueve por el viento o el aire que hay	1	3%
Total	36	100%

Tabla 5-10: Concepciones de los estudiantes respecto a la fuerza y la inercia

El 90% de los estudiantes vio efectivamente que la velocidad del balón era superior a la del ratón y que era inferior a la del conejo. Inclusive hay quienes afirmaron que aunque al principio el conejo iba más lento que el balón, esta iba creciendo y en algún momento sobrepasaría al balón, lo cual es correcto. Pero al cuestionarse sobre las fuerzas actuantes sobre este último, el 81% de los estudiantes consideran que se necesita aplicarle una fuerza.

Prevalece en forma marcada la concepción de Aristóteles de la necesidad de una fuerza para producir el movimiento. Hay quien relativiza lo que es una fuerza y dice que dependiendo de la fuerza puede haber aceleración o no y por ello la respuesta está condicionada a que tipo de fuerza se trata. Inclusive hay quien tiene la concepción aristotélica de que el aire o el viento son los que hacen mover al balón; tal y como lo hiciesen los filósofos aristotélicos en el Medioevo para encontrar en el aire una explicación coherente para el movimiento de los proyectiles. A excepción de 4 estudiantes, no está la concepción galileana y newtoniana de que un cuerpo puede estar en movimiento sin necesidad de aplicarle una fuerza.

Con base en la categorización hecha a partir de las ideas previas de los estudiantes de décimo podemos obtener las siguientes conclusiones

- ✓ Es importante dedicar una o dos sesiones a trabajar el carácter relativo de la posición y el movimiento, pues podríamos llevar a la propuesta a cometer el error de concebir estos conceptos como absolutistas. Para ello, es posible que necesitemos usar material que pueda estar inclusive por fuera del contexto galileano.
- ✓ Hay que enfocarse en que la geometrización del espacio, debe vincularse con el contexto correcto del fenómeno que se esté trabajando (Por ejemplo, estar hablando de velocidades y estar pensando en tiempos o distancias).
- ✓ Lograr diferenciar aceleración de velocidad sin llegar a pensarlas como cosas iguales (no está presente la idea de cambio de una respecto a la otra)
- ✓ Comprender la idea de Inercia presente en la naturaleza pues aún hoy (24 siglos después) se sigue pensando que los movimientos requieren fuerzas actuantes tal y como lo entendió Aristóteles.

5.2 Análisis prueba (Test) aplicado a los estudiantes.

Con el fin de hacer un seguimiento desarrollada a través de la unidad didáctica, se aplicó un test con el fin de ver resultados comparativos. En efecto, se tomó como instrumento una prueba de selección múltiple con única respuesta que constaba de 12 situaciones. Ésta se aplicó al inicio de la unidad didáctica al grupo de 36 estudiantes del grado 1002 J.M del Colegio I.E.D Colombia Viva y nuevamente se aplicó al mismo grupo una vez se terminó de desarrollar la misma. Para objetivizar aún mas dicho análisis, se realizó también esta prueba a un grupo que a pesar de ser de décimo ya conocía la temática de cinemática y la ley de la inercia. El grupo escogido pertenece también al Colegio I.E.D Colombia Viva, y correspondió al grado 1101 J.T el cual tiene 20 estudiantes y está a cargo de otro docente (por matrícula hay menos estudiantes en la jornada tarde que en la jornada mañana). Los resultados se tabularon en una hoja de cálculo del programa excel, a partir de ellos, se elaboraron las tablas de datos para el correspondiente análisis. A continuación se presenta para cada pregunta, la tabla con los resultados y el análisis correspondiente. La respuesta correcta se resalta en negrita.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

1. Un cuerpo se considera que está en movimiento cuando a medida que transcurre el tiempo

   a. Una fuerza hace cambiar su posición en el espacio.
   b. Se desplaza de un sitio a otro.
   c. Su velocidad es diferente de cero.
   d. Cambia su posición, respecto a un marco de referencia.

PREGUNTA 1

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	4	11%
1101 JT	0	0%
1002 (Test-Post)	7	19%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-11: Respuestas de la Pregunta 1

Analizando las respuestas obtenidas vemos que los estudiantes del grado once de la jornada de la tarde, conciben el movimiento como un desplazamiento de un sitio a otro sin tener en cuenta un marco de referencia y sin ser conscientes del carácter relativo del movimiento. Ninguno respondió acertadamente a dicha cuestión, a pesar de suponer que ya tienen este conocimiento,. En cuanto al grupo de décimo, un 11% es consciente de dicha cuestión en el test previo y al preguntárseles nuevamente solo aumenta en un 8% las respuestas acertadas comparadas a lo que había pasado en el test previo. A pesar de que con la unidad didáctica percibimos una mejoría, los estudiantes de este nivel tienen muchas dificultades para desprenderse de un carácter absolutista del movimiento ya que los resultados muestran en general que en este aspecto los resultados son demasiado bajos a pesar de incluir la primera sesión.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

2. Para mantener un cuerpo en movimiento se necesita que

   a. Se le aplique permanentemente una fuerza.
   b. Se le imprima una velocidad.
   c. Cambie su posición respecto a un marco de referencia.
   d. Se encuentre en un medio libre de fricción y demás impedimentos.

PREGUNTA 2

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	5	14%
1101 JT	6	30%
1002 (Test-Post)	21	58%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-12: Respuestas de la Pregunta 2

Al observar los resultados de la tabla vemos en general una marcada visión aristotélica en la concepción del movimiento ya que en el test previo de décimo y en los estudiantes de once. Menos de 8 estudiantes por curso no pueden concebir un movimiento libre de fuerzas. Sin embargo es notable, la diferencia posterior a la unidad didáctica pues en virtud de la dialéctica aplicada en la sesión Experimento del Plano, encontramos en la física galileana que es posible tener movimiento en ausencia de fuerzas (movimiento uniforme) conforme a lo que plantea la inercia haciendo. En el test es evidente que el grupo de décimo, mejoró sus respuestas acertadas en un 44% como podemos observar en la Tabla 5-12.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

3. Un objeto está cayendo desde cierta altura con dirección al suelo. Teniendo en cuenta que no hay rozamiento con el aire, es correcto decir que

   a. Su aceleración es constante.
   b. Su velocidad es constante.
   c. Su aceleración ni su velocidad son constantes.
   d. Su aceleración y su velocidad son constantes.

PREGUNTA 3

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	5	14%
1101 JT	3	15%
1002 (Test-Post)	13	36%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-13: Respuestas de la Pregunta 3

De manera análoga a la Pre-Guía No2 los estudiantes creen que los conceptos de velocidad y aceleración son lo mismo y por tanto en la caída de un cuerpo además de aumentar la velocidad aumenta también la aceleración. Esto es relevante en el grupo de once que ha seguido la educación tradicional, pues solo 3 de los 20 estudiantes concibieron que la velocidad puede cambiar pero la aceleración siempre es la misma en todo el movimiento. En cuanto a los resultados entre el test previo y el posterior para los estudiantes de décimo hubo nuevamente una notable mejoría en los resultados obtenidos de un 22%; poco más del doble que del test previo. A pesar de ello, hay que continuar trabajando en deshacer esta “incómoda” dependencia que tienen los estudiantes entre al cambiar una velocidad implica también un cambio en la aceleración, porque los resultados en décimo aunque positivos son lo suficientemente altos.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

4. La aceleración del objeto en la situación anterior, justo antes de llegar al suelo tiene un valor (Considerar g=10 m/s^2)

   a. Igual a cero
   b. Ligeramente menor que g
   c. Igual a g
   d. Ligeramente mayor que g

PREGUNTA 4

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	7	19%
1101 JT	8	40%
1002 (Test-Post)	7	19%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-14: Respuestas de la Pregunta 4

Había una estrecha relación entre la pregunta anterior y esta pues una correcta interpretación de la anterior conllevaría a resultados favorables en esta. A pesar de que la Tabla 5-14 muestra una diferencia prácticamente del doble entre los estudiantes de once, el test previo y los de décimo, tenemos que tener presente también que hay muchos menos estudiantes en el grupo de once trabajado que en el de décimo. Si nos fijamos en la cantidad de estudiantes que contestaron acertadamente la diferencia es apenas de un solo estudiante. En el grado once continúa marcada la dependencia entre la velocidad y aceleración; seguramente dicha tendencia continuaría presente en los estudiantes que no contestaron acertadamente en grado décimo y fueron tal vez más confundidos por el dato numérico de la aceleración de la gravedad terrestre g=10 m/s^2.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

5. Suponga que una pelota se lanza verticalmente hacia arriba. Cuando llega a su punto más alto podemos decir que

   a. Su velocidad y su aceleración son diferentes de cero.
   b. Su velocidad es cero y su aceleración es diferente de cero.
   c. Su velocidad es diferente de cero y su aceleración es cero.
   d. Su velocidad y su aceleración son iguales a cero.

PREGUNTA 5

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	9	25%
1101 JT	2	10%
1002 (Test-Post)	20	56%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-15: Respuestas de la Pregunta 5

Si dentro de la propuesta es importante diferenciar entre los cambios de velocidad (aceleración) y la velocidad misma; preguntas conceptuales como esta pueden ser contestadas acertadamente por más de la mitad de los estudiantes. Y dada esta confusión, dan resultados muy bajos en grado once. Por otra parte, es notable la mejoría de los estudiantes en el test posterior con un valor del 56%.como puede verse en los resultados de la Tabla 5-15

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

6. Se tienen dos objetos idénticos en la cima de un edificio alto. Uno se arroja hacia arriba, y el otro hacia abajo, ambos con la misma velocidad inicial. Sin tener en cuenta la resistencia del aire, podemos decir con respecto a sus velocidades que cuándo éstos llegan al suelo que

   a. El objeto que se lanzó hacia arriba tiene una mayor velocidad
   b. El objeto que se lanzó hacia abajo tiene una mayor velocidad
   c. Ambos objetos llegan a la misma velocidad.
   d. Es imposible decir cual tiene mayor velocidad porque no se ha mencionado la altura del edificio.

PREGUNTA 6

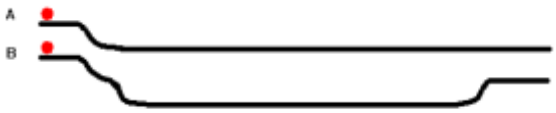
Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	11	31%
1101 JT	11	55%
1002 (Test-Post)	26	72%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-16: Respuestas de la Pregunta 6

Los resultados correspondientes a esta situación se presentan en la Tabla 5-16. Vemos una diferencia notable entre el test previo y el posterior en los estudiantes del grupo de décimo observándose una mejoría de resultados del 41%; es decir poco más del doble de lo que habían respondido inicialmente. Incluso es notable, su diferencia con respecto a los estudiantes de once quienes ya tenían ese conocimiento e incluso más herramientas para resolver las situaciones planteadas (por ejemplo la energía cinética y la conservación de la energía mecánica). Aunque existían dificultades con respecto a la comprensión de la aceleración, en cuanto a la velocidad se percibía en el desarrollo de la unidad didáctica que la velocidad y el tiempo de subida de los cuerpos son iguales que en el de caída y cómo la velocidad con la que se imprimió el objeto es la misma con la que llega las velocidades al llegar al suelo son iguales también.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

7. Dos esferas idénticas se sueltan al mismo tiempo, desde el reposo, en el extremo izquierdo de las pistas A y B como muestra la figura de esta situación. En estas condiciones, la esfera que llega primero al final de su pista con mayor velocidad es



   a. La de la pista A
   b. La de la pista B
   c. Ninguna pues las dos tienen la misma velocidad
   d. No es posible decirlo debido a la forma tan irregular de la pista B.

PREGUNTA 7

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	12	33%
1101 JT	7	35%
1002 (Test-Post)	16	44%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-17: Respuestas de la Pregunta 7

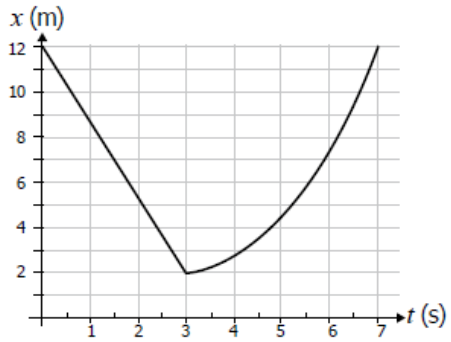
De forma análoga a la situación anterior la manera de comprender la velocidad en el movimiento de caída de los cuerpos llevó a resultados importantes sobre los estudiantes de once a pesar de que estos últimos tienen más herramientas que los de décimo y que son temáticas que ya han visto en cursos anteriores. La mejoría entre el test previo y el posterior es de un 9% igual diferencia con los estudiantes de once y con respecto a la cantidad de estudiantes es de poco más del doble de estudiantes.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

8. Un motociclista se mueve en línea recta. La gráfica de su posición X en función del tiempo t es representada en esta situación.

   En el intervalo comprendido entre los 3 y 7 segundos, se puede afirmar que el motociclista tiene

   a. Velocidad constante positiva, y está avanzando.
   b. Aceleración positiva, y está avanzando.
   c. Velocidad variable negativa, y está retrocediendo.



Aceleración negativa, y está

PREGUNTA 8

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	12	33%
1101 JT	12	60%
1002 (Test-Post)	19	53%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-18: Respuestas de la Pregunta 8

Dentro de la unidad didáctica se dedica un capítulo especial a las gráficas y a la interpretación de ellas. Se destaca sobre todo la de gráficas de posición contra tiempo. En el test previo como con los estudiantes de grado once la cantidad de estudiantes que contestan acertadamente es la misma (12 estudiantes). Sin embargo, puede verse que el incremento de respuestas acertadas después de la unidad didáctica es de un 20% que representa cerca de la mitad de los estudiantes evaluados para el grado décimo.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

9. Un carro se mueve a lo largo de un tramo recto de la carretera. La gráfica de esta situación, muestra la posición X como una función del tiempo t para dicho carro. De la gráfica se puede deducir que éste

   a. Aumenta su velocidad permanentemente.
   b. Disminuye su velocidad permanentemente.
   c. Aumenta su velocidad en una parte del tiempo y la disminuye en otra.
   d. Se mueve con velocidad constante.

PREGUNTA 9

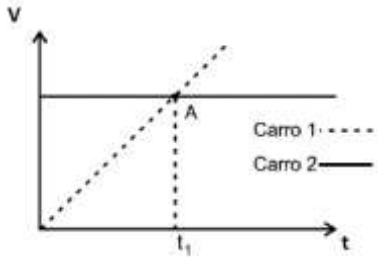
Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	6	17%
1101 JT	0	0%
1002 (Test-Post)	5	14%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-19: Respuestas de la Pregunta 9

Analizando las respuestas obtenidas se constata que aunque pueda haber aciertos en la interpretación de las gráficas posición contra el tiempo, se evidencian los cambios presentes en dichas gráficas (la interpretación de la pendiente de dichas gráficas) los estudiantes presentan serias dificultades en este aspecto. En los estudiantes de once ninguno contestó acertadamente (a pesar de herramientas como el cálculo que lo empiezan a conocer) y con respecto a los estudiantes de décimo vemos incluso que hubo mejores respuestas en el test previo que en el posterior. Se necesitan incorporar mejores elementos tanto a la unidad didáctica como a la enseñanza tradicional para mejorar en este aspecto.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

10. En esta situación, se plantea la gráfica de la velocidad v en función del tiempo t para dos carros que parten simultáneamente desde el mismo punto por una carretera recta. Con respecto al punto A, podemos decir que representa el instante en que



a. El carro 1 alcanza al carro 2
b. La aceleración es igual para los dos carros
c. La velocidad relativa entre los dos carros es cero
d. Los dos carros toman distinta dirección

PREGUNTA 10

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	0	0%
1101 JT	1	5%
1002 (Test-Post)	10	28%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-20: Respuestas de la Pregunta 10

Podemos ver los resultados en la Tabla 5-20. La interpretación de las gráficas mejora ostensiblemente entre el test previo y el posterior además evidencia una mejora casi del 30% comparado con el hecho de que tanto para los estudiantes antes de la unidad como para los de grado once es casi nula. Se debe continuar trabajando para mejorar en el número de estudiantes que contestan acertadamente pero se ve que el desarrollo de la propuesta mejora la interpretación de este tipo de gráficas.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

11. Con respecto a la situación anterior, desde el momento que parten hasta el instante t_1, el carro 1 ha recorrido una distancia

    a. Igual a la del carro 2, porque t_1 es el instante en que se encuentran
    b. Mayor que la del carro 2, porque está moviéndose aceleradamente
    c. Que no puede ser determinada, porque no se conocen las condiciones iniciales
    d. Menor que la del carro 2, porque antes de t_1 la velocidad del carro 1 siempre es menor que la del 2

PREGUNTA 11

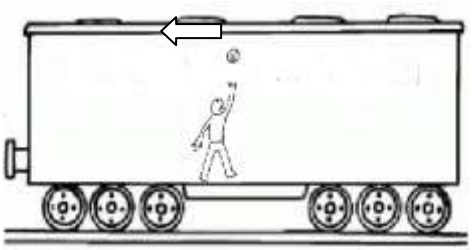
Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	6	17%
1101 JT	11	55%
1002 (Test-Post)	13	36%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-21: Respuestas de la Pregunta 11

A pesar de que la diferencia porcentual entre el grupo de once y el grupo de décimo después de la unidad es de casi un 20% en cuanto a la cantidad de estudiantes que estudió asertivamente es muy similar. Sin embargo lo que si podemos ver es que hubo una mejoría del doble de estudiantes que contestaron bien en el test previo, aunque en términos generales en esta pregunta los resultados de grado once fueron mejores.

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES (TEST)

12. Se lanza una pelota hacia arriba dentro del interior de un vagón de un tren que se mueve en la dirección indicada en la figura de esta situación. ¿Dónde caerá con relación al punto de origen en la plataforma si el tren se mueve con velocidad constante?



a. En el mismo punto de lanzamiento
b. Adelante del punto de lanzamiento
c. Atrás del punto de lanzamiento
d. A un lado del punto de lanzamiento

PREGUNTA 12

Grupo	Frecuencia	Porcentaje
1002 (Test-Pre)	11	31%
1101 JT	10	50%
1002 (Test-Post)	24	67%
GRADO 1002: Tiene 36 estudiantes **GRADO 1101 JT: Tiene 20 estudiantes**		

Tabla 5-22: Respuestas de la Pregunta 12

Analizando las respuestas obtenidas se constata que la sesión 12 fue muy fructífera por los estudiantes de décimo pues el 67% generalizó el ejemplo del navío a la tierra ya este vagón en particular, teniendo claro que los fenómenos son equivalentes en uno y otro y por tanto la pelota tenía que caer en el mismo punto en que se lanzó dado que el vagón se mueve uniformemente

6. Conclusiones y recomendaciones

Se aplicaron dos Pre-Guías a los estudiantes de grado décimo con el fin de conocer sus preconceptos o ideas previas. De los resultados arrojados por las mismas surgieron los siguientes cuatro aspectos: se evidencian dificultades en reconocer un sistema de coordenadas para identificar el movimiento, confunden constantemente la idea de velocidad con la de aceleración, no identifican correctamente las variables cuando son representadas gráficamente y no se concibe un movimiento en ausencia de fuerzas.

Con base en estos aspectos y sumando las tres de Galileo en el estudio del movimiento, se logró estructurar la unidad didáctica, las trece sesiones de trabajo, el material multimedia y el test aplicado a los estudiantes. Cada uno de estos siete aspectos los revisaremos como sigue.

En cuanto a las dificultades para reconocer un sistema de coordenadas, se encontró que era un tema muy importante aunque no estaba contemplado inicialmente en la propuesta. Se podía caer en el error de absolutizar la posición y el movimiento; por ello se dedicó la primera sesión a concientizar esta idea. La pregunta 1 del test estaba enfocada a evaluar este aspecto observándose una mejoría del 8% respecto a test previo y se debe continuar trabajando en ello pues la mejoría no fue muy grande.

Los estudiantes asumían que las palabras aceleración y velocidad significan lo mismo y por ejemplo piensan que un cuerpo en caída libre cambia continuamente su aceleración. Con esta intención se desarrolló la sesión 8 y al evaluarla en la pregunta 5 del test vemos una mejoría del 31% con respecto al test previo.

Referente a la incorrecta identificación de conceptos al hacer las gráficas, se elaboraron las sesiones 5, 6 y 7 de la unidad didáctica. Al evaluarlas en las preguntas 3 y 4 del test observándose una mejoría del 22% respecto a lo que se tenía inicialmente.

El experimento del plano en la sesión 11, permitió que los estudiantes lograran concebir un movimiento sin fuerzas apartándose de la concepción aristotélica y hubo una muy buena asimilación de la inercia; al evaluarla en el test en la pregunta 2 observamos una notable mejoría del 44% respecto a lo que se tenía antes.
Además, fue curioso que en una primera versión de la animación del Experimento del Navío (y con el fin de entender el ímpetus) los estudiantes presentaron dificultades

cuando se les pidió hacer abstracción del peso de las cosas, al igual que piensa Koyré, Galileo presentó la misma dificultad y por ello su ley de la inercia está limitada a la forma circular de la superficie terrestre; se necesitó hasta Newton para pensar en una total ausencia de fuerzas (en un espacio matemático) lo que daría como resultado un movimiento rectilíneo uniforme. Percatada esta dificultad, se modificó la animación y se pegó una tabla muy larga (plano infinito) sobre el cual se movía la esfera evitando evitar pensar en desaparecer la gravedad de la esfera. Con esta modificación les fue más fácil entender la inercia y en particular el significado del ímpetus

En cuanto al primer aspecto en el estudio del movimiento de Galileo, la velocidad y la distancia en movimiento acelerado, se ve una notable mejoría del 41% en la pregunta 6 y de un 11% en la pregunta 7 con respecto al test inicial. El estudio detallado del concepto de aceleración y del Teorema 2 durante las sesiones 8, 9 y 10 arrojó como vemos, resultados favorables.

Se mejoró notablemente en la interpretación de gráficas cinemáticas evidenciando un incremento del 20% en la pregunta 8, un 28% en la pregunta 10 y un 19% en la pregunta 11. Esto demostró que, trabajar la representación de situaciones cinemáticas a partir de las concepciones galileanas revela resultados favorables.

Finalmente, en cuanto a la inercia y el movimiento terrestre (aspecto también de Galileo) se vio una notable mejoría del 36% al preguntárseles en la pregunta 12 del test. El ejercicio dialéctico de la sesión 12 a través del experimento del navío, les permitió reflexionar sobre cuestiones de suponían evidentes (por ejemplo el movimiento terrestre) y notar que en sistemas en movimiento uniforme nos es difícil diferenciar las leyes del movimiento.

Resumiendo los resultados del test en comparación con la enseñanza tradicional, se observaron mejores resultados respecto al grupo de grado once, del orden del 83% pues fueron superiores en 10 de las 12 situaciones planteadas y viendo que la presente unidad didáctica es una buena alternativa para la enseñanza de estas temáticas.

Sin embargo, hay aspectos que mejorar pues en las preguntas 4 y 8 los resultados de los estudiantes de grado once fueron mejores. Esto se debe a que la propuesta busca la conceptualización pero también es necesario un uso correcto de los cálculos; por ejemplo a pesar de saber que la aceleración era constante, los estudiantes pensaron que el valor de g cambiaba con la distancia. También hubo dificultades en la interpretación del significado y cálculo de las pendientes en una gráfica cinemática.

Se recomienda también, enfocar la unidad didáctica a una generalización de todos los demás conceptos de la mecánica (para lo cual deberíamos incorporar a otros físicos como Newton, Descartes etc), lo cual implicaría una nueva temática para esta forma de trabajo.

El uso del recurso de la dialéctica se convirtió en un método novedoso y muy propio para mejorar la apropiación de los conceptos de los estudiantes, además de que de alguna forma se vio una mejoría en sus habilidades comunicativas.

Para concluir, podemos decir que los estudiantes se mostraron muy entusiastas con las presentaciones, las animaciones y los videos (material multimedia). Fue enriquecedor para ellos salir del aula de clase, con el fin de verificar hechos, que en aunque en su contexto eran complicados, habían sido deducidos de la lógica dentro del salón de clase. Pudieron verificar empíricamente el valor de una velocidad mientras caminaban o marchaban; de esta forma se le da importancia al método apriorístico establecido por Galileo Galilei.

7. Bibliografía

[1] BAIG Antoni, AGUSTENCH Monserrat. La revolución científica. Biblioteca de recursos didácticos Alhambra, España , 1988.

[2] GALILEI Galileo, Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo Ptolemaico y Copernicano. Editorial Alianza, 2011.

[3] GALILEI Galileo, Diálogos acerca de dos nuevas ciencias. Editorial Losada, Buenos Aires 2003.

[4] GARCÍA G. José Joaquín. Didáctica de las ciencias modelizar y resolver problemas en la educación en ciencias experimentales. Universidad de Antioquia, Colombia, 2011.

[5] KOYRE Alexandre. Estudios Galileanos. Siglo XXI editores, España, 1981.

[6] KUHN, Thomas S. La estructura de las revoluciones científicas, Fondo de Cultura Económica, 2002.

[7] KUHN, Thomas S. La Revolución copernicana (Volumen II), Ediciones Orbis, España, 1978.

[8] RAMÍREZ, Jorge Alejandro. Reflexiones sobre las ideas de Nicolás Oresme. Revista de la medicina y de la ciencia, 2007, vol. LIX, nº 1, enero-junio, págs. 23-34.

[9] BADIA, A, BARBERÀ, E, COLL, C y ROCHERA, M. J. La utilización de un material didáctico autosuficiente en un proceso de aprendizaje autodirigido. Universidad Oberta de Catalunya; Universidad de Barcelona.2002

[10] LOPEZ Leopoldo., Buridán, el impetus y la primera unificación de la física terrestre y celeste, Thémata. Revista de Filosofía. Número 41. 2009

[11] CHAMIZO, José Antonio. Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. Rev. Eureka Enseñanza. Divulgativa en Ciencias, 2010, 7(1), pp. 26-27

[12] DUHEM, Pierre. Études sur Leonard da Vinci, Vol 2. Hermann, París, 1913. Pp 411

[13] GILSON, La Filosofía en el Medioevo. La nuova Italia, Florencia, 1994. Pp 555-556.

[14] MENDOZA PÉREZ, Aníbal; RIPOLL, Luis y RUZ, Libardo, “Instrumentos para la enseñanza-aprendizaje de los vectores en cinemática”, Revista Educación y Pedagogía, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVII, núm. 43, (septiembre-diciembre), 2005, pp. 93-107.

[15] SANTILLAN, Rogelio. Manual de prácticas de laboratorio. Colegio de bachilleres del estado de baja california sur. 2006

[16] MAIZTEGUI, Alberto. Física I. Ed. Kapeluz. Argentina, 1988.

[17] SANTILLAN, Rogelio. Física-el estudio de los movimientos. En: Naturaleza Educativa. Disponible en <http://www.natureduca.com/fis_estumov_repres02.php>

[18] LOPEZ, Pedro A. (1998). Más por menos: El Lenguaje de las gráficas. España: Fundación Escher. Sociedad Madrileña de Profesores de Matemáticas

[19] RAMIREZ, Ricardo (Productor) & BIBERKOPF, Franz.(Director). (2004). Galileo el arte de la ciencia capítulo 1: El Telescopio. Colombia. Fundación Mazda - Universidad Nacional de Colombia.

Anexo A: Manual del docente de la unidad didáctica.

UNIDAD DIDÁCTICA: ENSEÑANZA DE LA FÍSICA CINEMÁTICA Y LEY DE LA INERCIA) A PARTIR DE LAS CONCEPCIONES DE GALILEO GALILEI PARA ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO

MANUAL DEL DOCENTE

Elaborado por: Lic. Luis Alejandro González Sánchez

Universidad Pedagógica Nacional

Universidad Nacional de Colombia

Introducción

El presente manual es un apoyo didáctico que complementa la enseñanza de la cinemática a través de la implementación de la unidad didáctica “ENSEÑANZA DE LA FÍSICA (CINEMÁTICA Y LEY DE LA INERCIA) A PARTIR DE LAS CONCEPCIONES DE GALILEO GALILEI, PARA ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO, que tiene como bases la dialéctica, la apropiación de conceptos y la claridad en estos por encima de la operativización de fórmulas y ecuaciones. Con esta intención se ha desarrollado este material, con el fin de que el docente que implemente dicha unidad en el aula tenga elementos para hacer el seguimiento de la misma.

Este manual no pretende señalar al profesor lo que debe hacer en cada una de las sesiones de clase, pero si pretende ser dar a conocer la forma en que fue diseñada y estructurada la unidad didáctica. Con todo, las propuestas didácticas que se incluyen son abiertas y ofrecen amplias posibilidades de adaptación a las formas de trabajo de cada profesor, a las condiciones en que labora y a las necesidades y dificultades de aprendizaje de los alumnos.

Se describe cada una de las 13 sesiones y su referencia en el CD donde encontramos el material multimedial que complementa las mismas. Igualmente está en dicho CD las Guías de Sesión para ser impresas y/o multicopiarlas para el trabajo con los estudiantes.

Contenido

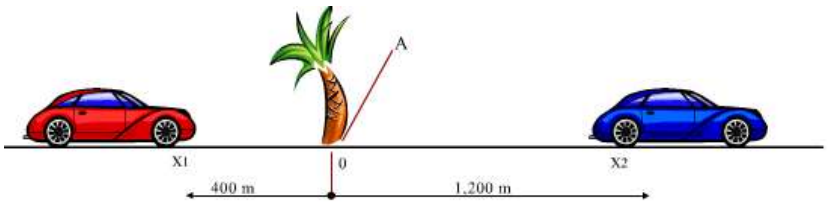
Sesión 1:	***Qué es la posición y el movimiento.***
Sesión 2:	***Presentación de la forma dialéctica de Galileo Galilei en su obra y formalización del movimiento uniforme***
Sesión 3:	**Medir el movimiento uniforme**
Sesión 4:	***Sesión de ejercicios movimiento uniforme***
Sesión 5:	***El Lenguaje de las gráficas***
Sesiones 6 y 7:	***Representación del movimiento Uniforme***
Sesión 8:	***El movimiento acelerado uniforme.***
Sesiones 9 y 10:	***Representación del movimiento Acelerado***
Sesión 11:	***La inercia galileana I***
Sesión 12:	***La inercia galileana II y la caída de los proyectiles (movimiento semiparabólico)***
Sesión 13:	***Repaso final de la Unidad.***

Sesión No. 1: Qué es la posición y el movimiento.

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la gran importancia de identificar un sistema de coordenadas respecto al cual caracterizamos un movimiento.
Conceptos previos: los previos dados por los estudiantes
Marco Teórico:
La forma más simple del movimiento es el cambio de posición de un objeto en el espacio. Para determinar la posición de un cuerpo en el espacio es necesario referir dicha posición en relación con otro cuerpo denominado inicialmente como *"cuerpo de referencia".* Su selección es arbitraria, puede ser un árbol, una casa, el Sol, etc. Esto implica que la posición de un cuerpo es una magnitud relativa, dependiente del objeto tomado como cuerpo de referencia.

Sin embargo, dicho cuerpo puede llegar a moverse o sufrir cambios y por ello la tarea se simplifica, si al cuerpo de referencia lo asociamos a un punto (de referencia) que lo sustituye. Habitualmente este punto se toma como origen de un sistema de coordenadas, lo que permite determinar la posición del cuerpo mediante sus coordenadas relativas al sistema seleccionado, y describir su movimiento mediante el cambio de dichas coordenadas. Inicialmente veámoslo para el caso de una línea recta.



Tenemos dos automóviles que se mueven por una carretera recta como lo indica la figura. Tomemos como cuerpo de referencia el árbol A y tracemos, a lo largo de la carretera el eje de coordenadas asociando a dicho árbol un punto A que será la coordenada cero del eje. Por convenio, las coordenadas que se encuentran a la derecha del origen se consideran positivas y las que se encuentran a la izquierda negativas. La posición del automóvil 1 (rojo) se determinará entonces por la coordenada X_1 = - 400 m y la del automóvil 2 (azul) por la coordenada X_2 = 1200 m
De esta forma la posición de un cuerpo que se mueve según una dirección rectilínea está determinada por una sola coordenada, la cual representa la medida de la distancia que va desde el origen de coordenada hasta el cuerpo en cuestión. El punto 0 de referencia (que existirá independientemente de la presencia o no del árbol), el sistema de coordenadas asociado a él y el instrumento de medición de tiempo, constituyen el sistema de referencia con respecto al cual se analiza el movimiento de un cuerpo. Elegir un sistema u otro de referencia depende del observador que estudia el movimiento.
De aquí podemos generalizar esto para el plano y el espacio; en éste último tendremos tres coordenadas X, Y y Z. Sin embargo, las ideas de posición y sistema de coordenadas seguirán siendo válidas como lo hicimos a lo largo de un solo eje (como en la carretera rectilínea). Con ello podemos referirnos al movimiento de la siguiente forma

Un cuerpo está en movimiento respecto a un sistema de coordenadas elegido como fijo, cuando sus coordenadas varían a medida que transcurre el tiempo.[51]

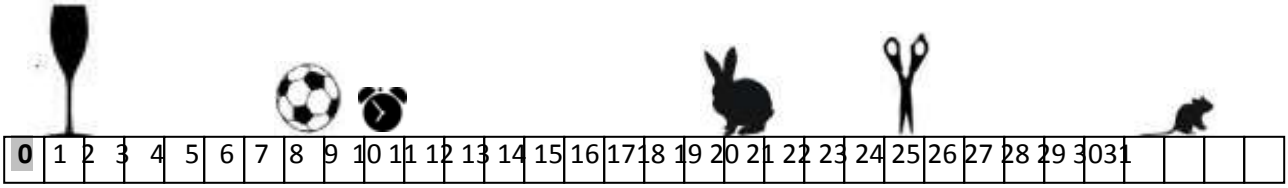
Materiales: Guía de Sesión No 1, cuaderno de los estudiantes

Procedimiento:

1- Entregar a los estudiantes la Guía de Sesión No 1 (Contenida en la carpeta SESION 1 del CD)

2- Después de leer con atención el marco teórico responder a las siguientes situaciones

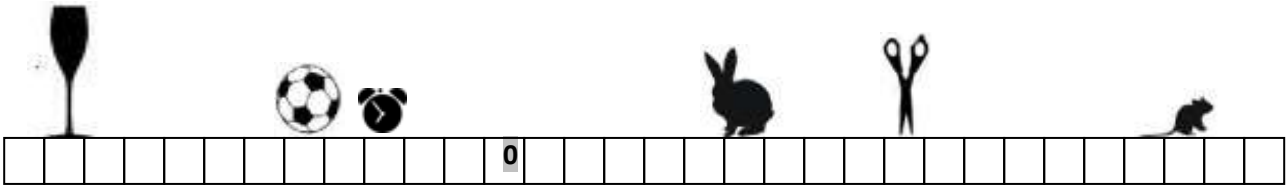
- SISTEMA A: Determine las posiciones de los siguientes objetos tomando como referencia el cero como indica la gráfica y considerando que la distancia de cada cuadrito es de 1 cm (Fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)



SISTEMA A

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
1 cm					

- SISTEMA B: Determine ahora las posiciones de los siguientes objetos tomando como referencia el cero como ahora indica la gráfica (Cada cuadrito es 1 cm fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)

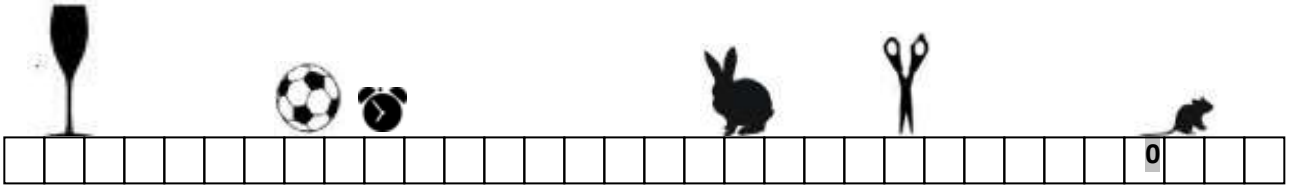


[51] Esta definición es tomada de la lectura "Diálogo en un Tren" del libro de física de Maiztegui-Sábato que se trabajará posteriormente en esta sesión.

SISTEMA B

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
- 11 cm					

- SISTEMA C: Finalmente determine las posiciones de los tomando como referencia el cero que ahora indica la gráfica (Cada cuadrito es 1 cm fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)



SISTEMA C

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
- 27 cm					

- Alguno de los tres sistemas anteriores es mejor que el otro. Explique.

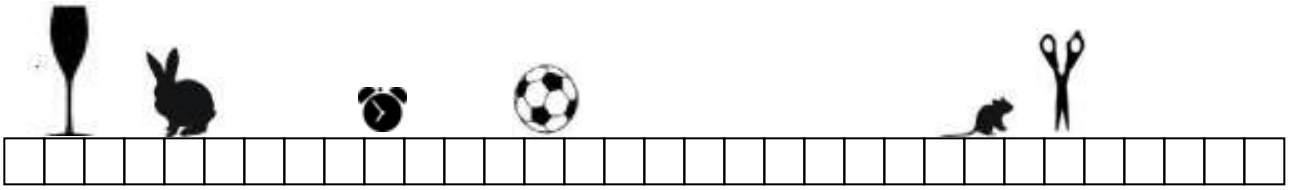
_____

_____

_____

_____

- Si las nuevas posiciones (después de un tiempo) de los objetos son las siguientes



Determine las nuevas posiciones en los tres sistemas (fíjese en el ejemplo pero consultar a su profesor en caso de dudas)

Objeto o Animal	SISTEMA A	SISTEMA B	SISTEMA C
Balón	13 cm	1 cm	- 14 cm
Conejo			
Copa			
Despertador			
Ratón			
Tijeras			

"Asociamos al movimiento de alguna forma con cambios de posición, pero aún algo falta…"

3- Entregar a los estudiantes la lectura "Diálogo en un tren" de la física de Maiztegui-Sábato (disponible también en formato pdf en la carpeta SESION 1 del CD) con el fin de que respondan los siguientes interrogantes.

- ¿Qué tipos de cambio son importantes al considerar un objeto en movimiento?

- En plena época de Galileo, se pensaba que la tierra estaba quieta y todo el cosmos giraba en torno a ella. Mencione las razones que usted considera pudieron dale validez a dicho pensamiento.

- ¿Se podría pensar que las cosas "quietas" podrían estar en movimiento? Argumente su respuesta.

EL CONCEPTO DE MOVIMIENTO

Extraído del Cap. 7 del libro "FISICA I" de Maiztegui-Sábato, pp 75-79

DIÁLOGO EN UN TREN.

Dos amigos viajan en el rápido de Buenos Aires a Rosario. Uno de ellos dice:

– ¿En qué estará pensando ese señor, que desde que salimos de Buenos Aires mira por la ventanilla y no se ha movido para nada?

El otro es un físico. Siente gusto por la discusión, por las definiciones precisas, y un poco también por las bromas. Le responde

– ¿Cómo que no se ha movido? ¡Lleva recorridos unos 30 km a razón de 100 km por hora...!

– ¡Vamos...! Quiero decir que *él* no se ha movido, que desde que empezó el viaje ha estado clavado en su asiento, mirando por la ventanilla, sin moverse una sola vez para nada. ¿Está claro?

– No te excites. Más bien deberías avergonzarte de emplear las palabras tan a la ligera.

– No entiendo...

– Esto de hablar de moverse o no moverse es cosa peligrosa; las palabras deben emplearse con sumo cuidado. En primer lugar, fíjate que la discusión empezó porque olvidaste decir algo muy, pero muy importante

– ¿De qué me olvidé?

– Te olvidaste de aclarar con *respecto a qué,* oye bien, con *respecto a qué* ese señor se ha movido. Reflexiona, que ese detalle es de importancia decisiva. En efecto: el señor no se ha movido respecto del vagón, con relación al vagón, a su asiento, a la ventanilla, si quieres.

Pero en cambio se ha movido, ¡y de qué manera!, con relación a la ciudad de Buenos Aires.

Se ha movido por lo menos 30 km, o ya 34, porque ésta discusión debe de llevar unos 4 km, si me reloj y mi ojo no me engañan.

– ¡Bah! todo eso son sutilezas y afán de discutir porque sí. No me vas a decir que toda esa palabrería tiene importancia.

– ¡Cuidado! Muchos grandes descubrimientos de la Física fueron hechos gracias a análisis como éste, que tú calificas de palabrería. ¡Si supieras lo que Galileo y Newton y Einstein aprovecharon de discusiones así...!

– Bien, señor profesor, gracias por la lección. ¿Quiere decirme, entonces, de qué manera hay que expresarse para no sucintar las iras de físicos o ingenieros o astrónomos?

– No tengo ningún inconveniente. Más, todavía: estoy dispuesto a confesar que experimentaré un gran placer, pero con la condición de que respondas cada vez que te haga una pregunta. Te quiero probar que tú mismo eres capaz de sacar conclusiones interesantes

– A ver...

– Primero, supongamos que estás en el andén de una estación, adonde has ido para despedir a tu familia. ¿Cómo sabes que el tren se pone en movimiento?
– Pues, porque veo que las ruedas empiezan a moverse.
– No hay necesidad de ver las ruedas. Eso no es lo importante. Además, las ruedas podrían girar y patinar en el mismo lugar, de modo que el tren quedaría todavía en reposo.
– Pues... simplemente, porque se aleja.
– Estamos de acuerdo, pero si agregas un detalle. ¿Se aleja de quién?¿Respecto a qué? ¿Con relación a qué?
– Pues, porque se aleja de mí, con respecto a mí, con relación a mí
– Muy bien; progresas. Veamos si eres capaz, ahora, de decirme cuándo un cuerpo cualquiera está en movimiento.
– Muy sencillo. Un cuerpo está en movimiento cuando aumenta su distancia respecto a un hombre que está en un lugar
– Bastante bien, pero con dos defectos
– ¿Cuáles son?
– Primer defecto: según tu definición, el tren se movería cuando se *va*, pero no cuando *viene*.
– Me olvidé, claro. Habría que decir "*cuando aumenta o disminuye su distancia*".
– Sí. Pero ahora viene el segundo defecto. Según tu definición, el tren está sólo se mueve si hay un hombre parado en la estación. ¿Y si no hubiera nadie, el tren no se movería lo mismo?
– Bueno, claro que no es necesario que haya ningún hombre allí.
– Entonces, ¿cómo te parece que sería correcto decir?
– Un cuerpo está en movimiento, cuando aumenta o disminuye su distancia respecto a un punto fijo.
– Muy bien, bastante bien para un aficionado. Fíjate, sin embargo, que el problema no queda todavía resuelto. Hay mucho que hablar.
– ¡Cómo! ¿Todavía?
– Ya lo creo. Queda algo muy importante, de enorme importancia. ¿Quién se mueve, el tren o la estación?
– ¡Estás bromeando...!
– Hablo en serio.
– No sé adónde quieres ir a parar con esa pregunta de locos, pero te responderé como si fuera una pregunta cuerda. Es el tren el que se mueve.
– Así que la estación está en reposo. ¿No?
– Por supuesto.
– ¿Y no se te ha ocurrido pensar que la estación está instalada en un planeta que se mueve vertiginosamente por los espacios siderales?

Aquí el amigo del físico se llevó la mano derecha al mentón, frunció el entrecejo, reflexionó, y finalmente dijo, casi con pavor:
– ¡Caramba! Me parece que lo mejor en la vida sería no pronunciar una sola palabra. Creo que todo es terriblemente difícil. Me acabas de hacer ver algo increíble... En efecto...
Claro... Entonces, si la estación está sobre la Tierra, y si la Tierra gira y se traslada vertiginosamente en el espacio... Diablos... Es la misma cosa de hoy con el señor ese y la ventanilla y la estación... Estamos como al comienzo... ¡Por el amor de Dios! ¿Me puedes decir que es lo verdadero y qué es lo falso? ¿Quién se mueve? ¿Quién está en reposo? Ya no entiendo nada.
– Ahora tienes verdadero interés; ahora no estás fastidiado por la palabrería. ¿No es así?
– Lo confieso. Me muero de curiosidad.
– Muy bien. Como decía un filósofo griego, el asombro es la madre de la sabiduría. Hay que empezar por asombrarse y preguntar, como los chicos, ¿por qué?, ¿por qué?
– Bueno, responde de una buena vez.
– Pues, en cierto modo, la respuesta es muy simple. Todos los movimientos son relativos, es decir, con *relación* a algo, a un punto. Por ejemplo, para empezar con nuestro señor, el que originó la discusión, ese señor está *en reposo con relación al vagón*, pero también podemos invertir la frase diciendo que *el vagón está en reposo en relación al señor.* Pero ese señor está en *movimiento con respecto a la estación...*
– ¿De modo que alguien o algo puede estar *a la vez en reposo y en movimiento*?
– Exacto. Todo depende del punto de referencia que se elija como fijo. Como decía, ese señor *se mueve respecto a la estación*, considerándola fija, pero también es lícito decir lo inverso: *que la estación se mueve respecto a ese señor,* considerándolo a él como fijo. No hay más derecho a decir lo primero que los segundo, pues la estación no es ningún ente privilegiado, ya que pierde inmediatamente su jerarquía o su importancia en cuanto pensamos en el Sol o las estrellas. ¿Acaso la estación está en reposo respecto al Sol? De ningún modo.
– ¿Entonces?
– Entonces, si queremos ser verídicos y no decir más que lo que debemos decir, habrá que definir el movimiento de esta manera...
– Un momento, intentaré hacerlo yo
– Veamos...
– Yo diría que "un cuerpo está en movimiento *con relación a un punto elegido como fijo*, cuando aumenta o disminuye su distancia respecto a ese punto"
– ¡Magnífico! Se puede todavía hacer una simplificación. En Física hay que emplear siempre el mínimo de palabras y acá sobran dos.
– A ver... ¡Ya sé!: "*Un cuerpo está en movimiento con relación* a un punto elegido como fijo, cuando varía su distancia respecto a ese punto"
– Muy bien. Ahora tú mismo puedes extraer algunas conclusiones bastante curiosas sobre fenómenos que son bien conocidos. ¿Qué me podrías decir sobre dos trenes

expresos que corren uno al lado del otro, en la misma dirección, en el mismo sentido, y con la misma velocidad?
– Que un tren está en reposo con respecto al otro.
– Perfecto. ¿Qué me podrías decir si uno de esos trenes se mueve a 100 km/h y el otro a 90 km/h?
– Que el primero se mueve a 10 km/h con relación al segundo.
– ¡Magnífico! Creo que la lección ha sido provechosa. Puede sentarse, joven. Le pondré diez puntos.
– ¡Un momento señor profesor! Me parece que la definición que usted acepta tiene un defecto.
– ¡Esto sí que está bueno! Así es, tiene un defecto. Si has dado en el clavo, resultarás mejor alumno de lo que yo esperaba. ¿Cuál es el defecto?
– ¿Qué pasa si revoleo una piedra y elijo como punto fijo mi hombro? La piedra recorre una circunferencia cuyo centro es mi hombro. La distancia de la piedra a mi hombro no varía, y sin embargo la piedra se mueve...
– Ése es el defecto. Para definir el movimiento con toda precisión, debes elegir no un *punto de referencia* sino un *sistema de coordenadas*. Pero ¿recuerdas lo que es un sistema de coordenadas?
– Sí... tres rectas que se cortan en un mismo punto.
– Y cada una perpendicular a las otras dos. Como las aristas de las paredes de una habitación que concurren a un mismo rincón. Y ahora, en lugar de decir: "Un cuerpo está en movimiento con respecto a un sistema de coordenadas, elegido como fijo, cuando varían... ¡sus coordenadas!"
– Bueno, hombre, ahora tendría que ponerte diez y felicitarte...

FIN

DEFINICIÓN DE MOVIMIENTO. Un cuerpo está en movimiento respecto a un sistema de coordenadas elegido como fijo, cuando sus coordenadas varían a medida que transcurre el tiempo.

Sesión No. 2: Presentación de la forma dialéctica de Galileo Galilei en su obra y formalización del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivos:

1. Identificar los fenómenos del movimiento a través del conocimiento de las obras de Galileo Galilei y su forma de diálogo.
2. Conocer la forma en que Galileo Galilei define el movimiento uniforme

Conceptos previos: movimiento, posición, coordenadas, sistema de coordenadas.

Marco Teórico:

Galileo es considerado por muchos como el fundador de la ciencia moderna haciéndose entonces merecedor al título de padre de la física matemática. Fue importante en esa revolución de la inteligencia humana contra la aceptación crítica en la física de la autoridad de Aristóteles, y trazó las líneas de un método en el que la experimentación y el raciocinio constituían los dos pilares fundamentales e imprescindibles para la investigación científica

Estudió la caída de los cuerpos, las leyes del movimiento de caída de los cuerpos, el movimiento del péndulo y construyó el primer anteojo astronómico, posteriormente llamado Telescopio con el cual hizo fantásticos descubrimientos.

Sus principales conocimientos fueron publicados en muchas obras, pero destacamos entre ellas a dos fundamentales las cuales son

- Diálogos sobre los dos sistemas máximos del Mundo
- Discursos y demostraciones sobre dos nuevas ciencias.

Estas dos obras están construidas en forma de Diálogo. El diálogo es un instrumento que es capaz de averiguar la verdad filosófica por medio del debate; a esto se le conoce también como **DIÁLECTICA** y como ejemplo tenemos los diálogos de Platón en la antigua Grecia.

Un diálogo consiste en una conversación (que en el caso de las obras de Galileo es muy gentil) sostenida entre sus protagonistas llamados interlocutores, y como tal, se divide en parlamentos que discuten a lo largo de varias jornadas o días.
.
En el caso de las obras de Galileo tenemos a tres interlocutores los cuales son los siguientes:

- ✓ Sagredo: es una persona inteligente que representa la visión neutral de quien busca la verdad sin aferrarse a una posición alguna. Será el papel que representará el profesor de la clase. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR ROJO)

- ✓ Simplicio: representa a la intuición y al sentido común y sus ideas no contradicen lo que vemos a nuestro alrededor, será pues el defensor de un muy antiguo físico filósofo griego llamado Aristóteles. Será el papel que representarán ustedes

estudiantes en el diálogo. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR VERDE)

- ✓ Salviati: representará a la propia visión de un físico italiano llamado Galileo Galilei. Será nuestro maestro y con sus ideas veremos nuevas concepciones a esta llamada nueva ciencia y en particular del movimiento. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR AMARILLO)

Ahora bien, ya que tenemos de la clase anterior claro el concepto de movimiento y la importancia de un sistema de referencia veamos cómo está definido el movimiento uniforme según Galileo

Definición: Entiendo por MOVIMIENTO UNIFORME aquel cuyos espacios recorridos por un móvil en cualesquiera tiempos iguales, son entre sí iguales.

* De acuerdo con esta definición de Galileo significa que se recorren espacios iguales en tiempos iguales; significando que LA VELOCIDAD NUNCA CAMBIA.*

De esta definición se desprenden cuatro axiomas

AXIOMA I: Tratándose de un mismo movimiento, uniforme, el espacio recorrido durante un tiempo más largo, es mayor que el espacio recorrido durante un tiempo más breve.
AXIOMA II: Tratándose de un mismo movimiento uniforme, el tiempo, en que un espacio mayor es recorrido, es más largo que el tiempo en que es recorrido un espacio menor.
AXIOMA III: Un espacio recorrido con mayor velocidad durante un mismo tiempo, es mayor que el espacio recorrido con menor velocidad.
AXIOMA IV: La velocidad con que, durante un mismo tiempo, es recorrido un espacio mayor, es mayor que la velocidad con que es recorrido un espacio menor.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de Sesión 2, cuaderno de los estudiantes.

Procedimiento:

1- Realice la exposición de la presentación en Power Point titulada GALILEO GALILEI – MOVIMIENTO contenida en la carpeta SESION 2 del CD. Puede complementar la misma con datos que usted conozca sobre la vida de Galileo y al final de la exposición contestar las inquietudes de los estudiantes. Tener presente que son dos temáticas las cuales se exponen una después de la otra; la primera es sobre las generalidades de la obra y la dialéctica de Galileo y la segunda sobre la manera en que define el Movimiento Uniforme.

2- Entregar a los estudiantes la Guía de Sesión No 2 (Contenida en la carpeta SESION 2 del CD)

3- Desarrollar las siguientes cuestiones

- La presentación menciona que Galileo es el padre de la física-matemática. ¿Qué significado tiene para usted esto?

- ¿Por qué cree que es importante la presencia de un interlocutor intermedio (Sagredo) en el diálogo?

- ¿Cree que los descubrimientos hechos por Galileo con el telescopio fueron importantes en su teoría del movimiento? Explique

4- Represente mediante un dibujo la manera en que interpreta cada uno de los cuatro axiomas. Consulte a su profesor y consigne en su cuaderno las observaciones que tiene que le hacen con las debidas correcciones (Son dibujos, no gráficas).

Sesión No. 3: Medir el movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: identificar y medir el movimiento uniforme con base en lo que formula el Teorema 1.

Conceptos previos: distancia, tiempo, movimiento, movimiento uniforme.

Marco teórico:
En la clase anterior, quedo enunciado un teorema como resultado de los cuatro axiomas de Galileo Galilei para el movimiento uniforme.
TEOREMA 1: Si un móvil, que marcha con movimiento uniforme y con velocidad constante, recorre dos espacios, los tiempos de los trayectos son entre sí como los espacios recorridos.

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad o\ bien \quad \frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2}$$

donde las *x* representan distancias y las *t* tiempos (Sin demostración). Las anteriores proporciones nos permitirán hacer cálculos así como encontrar la velocidad de un movimiento uniforme.

Materiales: Guía de Sesión No.3, metro, cronómetro, calculadora.

Procedimiento:

1- Divida al curso en grupos de cuatro estudiantes y luego salir a un espacio abierto como el patio donde puedan caminar o marchar libremente.
2- Una vez afuera se entrega a cada grupo la Guía de Sesión No. 3 (Contenida en la carpeta SESION 3 del CD)
3- Un estudiante será encargado del cronómetro, otro de medir la distancias y registrar los datos y otro será encargado de caminar (o marchar) procurando en lo posible que su movimiento sea uniforme.
4- Inicialmente el estudiante caminará “lo más parejo posible” a lo largo de un trayecto recto una distancia de 10 mts. Se medirán, los tiempos varias veces (4) y se hallará el promedio entre ellas

Tiempo1	Tiempo1	Tiempo1	Tiempo1	PROMEDIO

5- Con ello podrá predecir cuál será el tiempo que demorará al recorrer el tiempo anterior usando

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

Y con dicha predicción será posible determinar la velocidad del estudiante por la expresión

$$\frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2} \quad (e\text{l resultado quedará medido en m/s})$$

6- Realice también la predicción para 20 y 30 mts. Recordar que en todos la velocidad es la misma aunque se recorran diferentes distancias

Distancia	Predicción del tiempo necesario
10 mts	
20 mts	
30 mts	

VELOCIDAD: _____ m/s

7- Confrontar los datos calculados, ahora con el estudiante recorriendo las distancias mencionadas (Aunque en esta experiencia no se busca hallar el error porcentual entre el valor teórico y el experimental, sino ver que los valores predichos se acercan bastante) y realizar el promedio de las medidas.
8- Realizar los pasos 4, 5 6 y 7 pero con el estudiante marchando, y ahora obtenemos una velocidad mayor.

Sesión No. 4: Sesión de ejercicios Movimiento Uniforme

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: desarrollar ejercicios teóricos sobre el movimiento uniforme.

Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.

Materiales: Guía de Sesión No.4, cuaderno de los estudiantes, calculadora.

Marco Teórico:
Las dos expresiones derivadas del Teorema 1 y verificadas en la sesión anterior nos permitirán medir la velocidad y las variables concernientes al movimiento uniforme

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad o\ bien \quad \frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2}$$

consiguiendo que podamos resolver ejercicios de este tipo de fenómeno.

Procedimiento

Los estudiantes deben resolver los siguientes ejercicios y en caso de dudas solicitar la asesoría del docente

1- Calcular la velocidad de una persona que camina con movimiento uniforme dando un paso de un metro cada 0.5 segundos.
2- Calcular la velocidad de una bola de bolos que tiene un movimiento uniforme y la cual recorre 4 metros en 2 segundos.
3- Calcular la velocidad de una pelota de tenis con movimiento uniforme y que recorre la longitud completa de la cancha (24 metros) en 0.5 segundos.
4- Cuál es la velocidad promedio de un guepardo que corre 140 metros en 5 segundos.
5- Un cuerpo tiene movimiento uniforme desplazándose a una velocidad de 30 m/s. ¿Cuál es la distancia que recorrerá en 12 s?
6- Un móvil que se mueve con movimiento uniforme. ¿Cuánto tiempo se demorará en recorrer 258 km si lleva una rapidez de 86 km/h?
7- ¿Qué tiempo necesitó un móvil en movimiento uniforme si recorre 644 m a una velocidad de 11 m/s?
8- Dos móviles parten de un mismo punto con movimiento uniforme. Uno se dirige hacia el este a 80 km/h y el otro hacia el oeste a 90 km/h. Calcular la distancia que los separa en 2 horas.
9- ¿A cuántos m/s equivale la velocidad de un móvil que se desplaza a 72 km/h?

Unidades de Conversión → 1 Km= 1000 m y 1 h= 3600 segundos

Observación: Para la próxima sesión, los estudiantes traerán una consulta sobre los aportes matemáticos y científicos que hizo el pensador Nicolás de Oresme.

Sesión No. 5: El Lenguaje de las gráficas

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la importancia del lenguaje de las gráficas al interior de todas las disciplinas y su posterior uso como una herramienta importante en la comprensión de la cinemática

Conceptos previos: plano cartesiano.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador con parlantes, Guía de sesión No.5, cuaderno de los estudiantes.

Marco Teórico:
El lenguaje desempeña un papel fundamental en el aprendizaje, hasta el punto que diversos estudios han puesto de relieve que, en determinados casos, la falta de significación del lenguaje utilizado es un obstáculo insalvable para la adquisición de un concepto o para el desarrollo de un proceso. En particular, en el aprendizaje de las matemáticas, el lenguaje de las gráficas se muestra como una gran alternativa, ya que éstas son medios potentes para tratar gran número de problemas. Las gráficas se utilizan en casi todas las disciplinas: física, biología, química, economía, sociología, psicología, etc. Nos dan una rápida información visual de la relación entre magnitudes.

Sin embargo, los vestigios de este lenguaje estuvieron en el pensador del siglo XIV Nicolás de Oresme. En su obra, Tractatus aparecen cualidades (en vez de magnitudes como tal) relacionadas matemáticamente por primera vez. Todo lo que varía, decía Oresme, lo podemos imaginar como una cantidad continua representada mediante un segmento rectilíneo. Y trasladó al plano lo que hasta entonces habían hecho los geógrafos sobre la esfera. Mantuvo incluso los nombres, y llamó longitud y latitud a los antepasados de lo que hoy llamamos abscisa y ordenada. Siglos después, Galileo Galilei también haría una representación gráfica similar a la que hizo Oresme en sus obras. Sin embargo, los fundamentos que usamos hoy en día en las gráficas surgieron gracias a Pierre de Fermat y René Descartes.

Procedimiento:

1- Organizar un debate de máximo 15 minutos en torno a lo que hayan consultado los estudiantes sobre los aportes matemáticos y científicos de Nicolás de Oresme. Consignar las conclusiones en el tablero y los cuadernos de los estudiantes.
2- Una vez concluido el debate proyectar el documental “MAS POR MENOS: EL LENGUAJE DE LAS GRÁFICAS”, contenida en la carpeta SESION 5 del CD**.** Hay dos versiones en mpeg y flv para garantizar que pueda ser en efecto visto
3- Entregar la Guía de Sesión No. 5 a los estudiantes (Contenida en la carpeta SESION 5 del CD)

4- Responder las siguientes cuestiones

- Escriba tres razones por las que después de todo lo expuesto considere importante el uso del lenguaje gráfico en el estudio de las situaciones cotidianas.

- Qué ventajas considera interpretar el movimiento a un lenguaje basado en las gráficas.

- En 1623, Galileo Galilei escribió en su obra "El Ensayador" lo siguiente: *"La filosofía (la física) está escrita en este grandísimo libro que continuamente tenemos abierto ante los ojos (el universo, digo yo) pero que no se puede comprender si primero no se aprende a entender la lengua y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, medios sin los cuales es imposible entender humanamente una palabra, sin los cuales se dan vueltas vanamente por un oscuro laberinto".*
  Escriba qué relación puede haber en esta forma de pensar galileana y el lenguaje de las gráficas

Observación: Para las próximas dos sesiones, deberán traer regla, lápiz y papel milimetrado.

Sesiones No. 6 y 7: Representación del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivo: representar el movimiento uniforme en gráficas posición-tiempo velocidad-tiempo

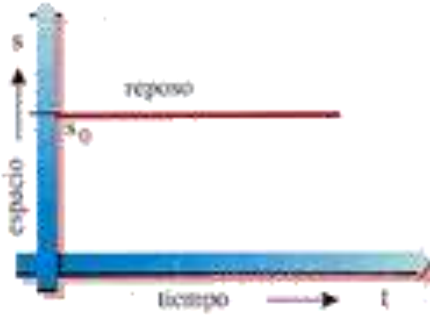
Conceptos previos: plano cartesiano, interpretación de una gráfica, posición y velocidad

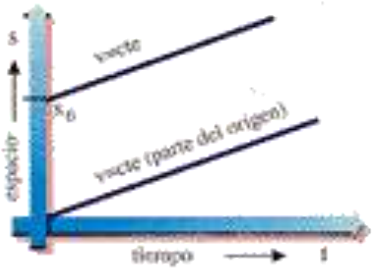
Materiales: Guía de Sesión No.6 -7, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado
.

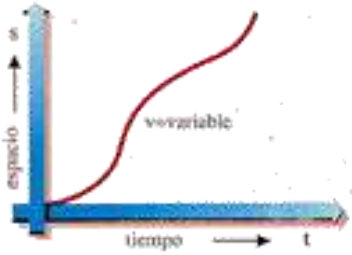
Marco Teórico
La representación gráfica de un movimiento y de sus características permite extraer una información valiosa sobre dicho movimiento.

Las gráficas en las que se refleja la variación de diferentes magnitudes con respecto al tiempo son gráficas en las que se involucra la variable TIEMPO y por sí mismas proporcionan una buena descripción de las características del movimiento considerado. En todas ellas el tiempo t se representa en el eje horizontal o de abscisas y la magnitud cinemática (INICIAMOS CON LA POSICIÓN) en el eje vertical o de ordenadas. Tales tienen en el origen el punto que representa el cero del eje de coordenadas como lo representa la figura

En este sentido podemos interpretar las siguientes situaciones

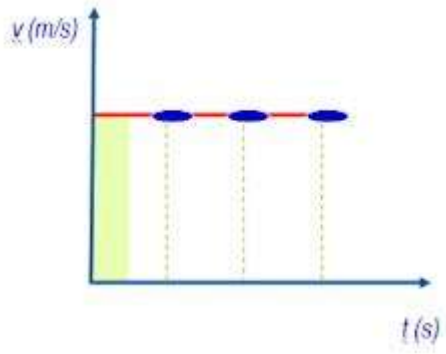






Las gráficas posición - tiempo representan la variación del espacio medido sobre la trayectoria con respecto al tiempo. Las rectilíneas y oblicuas representan velocidad constante y las curvilíneas corresponden a velocidad variable (esta última se verá después).

En cuanto a la gráfica velocidad – tiempo, el movimiento uniforme es representado por una línea horizontal (dado que la velocidad no cambia). Galileo interpretó que el área bajo esta gráfica representa la distancia recorrida por el cuerpo considerado.



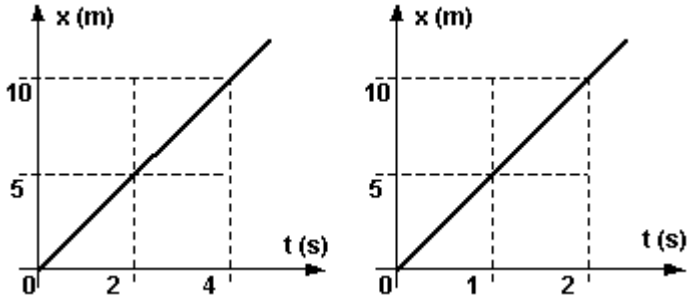
Adicionalmente, en la graficación debemos tener presente las siguientes observaciones:

- ✓ Los ejes deben estar bien graduados cuidando que las divisiones en cada uno de ellos sean iguales
- ✓ Tener cuidado de no invertir las coordenadas de los puntos representados. Recordar que la primera representa la abscisa EN EL EJE X y la segunda representa la ordenada EN EL EJE Y.
- ✓ Rotular debidamente cada uno de los ejes, recordando que una gráfica sin ejes sin rotular no tiene sentido dentro de la física. considerado.

Procedimiento:

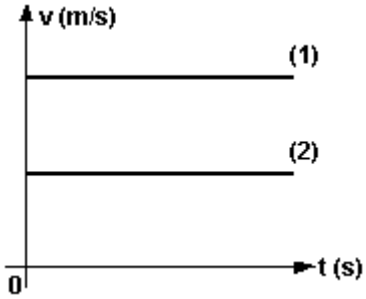
Se entrega a los estudiantes la Guía de Sesión No 6 -7 (la cual está dentro de la carpeta SESION 6 y 7 del CD). Dicha guía contiene gráficas que corresponden a situaciones relacionadas con el movimiento uniforme. Tener en cuenta todas las indicaciones dadas en la misma para la correcta elaboración de las gráficas Son dos sesiones de trabajo así que las situaciones que queden pendientes se continuarán trabajando en la siguiente sesión. Asesorar a los estudiantes en caso de dudas. El trabajo se realizará en hojas papel milimetrado (no en las Guías de Sesión). Al final, recoger todo el trabajo hecho retornando a los estudiantes únicamente las gráficas que realizaron.

1- Reproducir en papel milimetrado las siguientes gráficas.



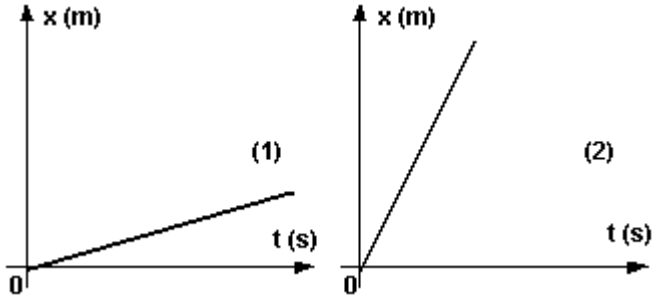
Dos cuerpos diferentes se mueven de acuerdo a las anteriores gráficas. Calcular en cada una de ellas la velocidad de cada cuerpo y la distancia recorrida.

2- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



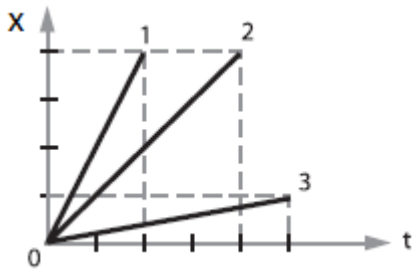
Dos cuerpos (1) y (2) se mueven de acuerdo con lo anterior ¿Cuál de los dos cuerpos anteriores lleva mayor velocidad? Explicar porqué.

3- Reproducir en papel milimetrado las siguientes gráficas.



Dos cuerpos (1) y (2) se mueven de acuerdo con lo anterior ¿Cuál de los dos cuerpos anteriores lleva mayor velocidad? Explicar porqué.

4- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.

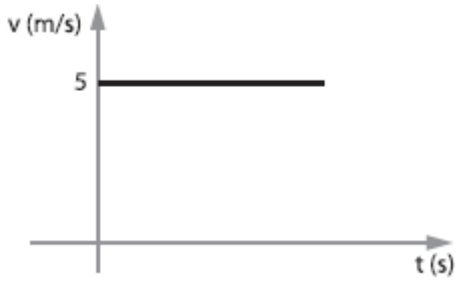


La posición x de tres partículas 1, 2 y 3 en función del tiempo, son mostradas en la gráfica. Calcular sus velocidades así como las distancias recorridas en cada una.

5- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.

Con base, en la anterior gráfica generar hacer la gráfica velocidad-tiempo para este movimiento.

6- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica que representa a un móvil se desplaza con movimiento uniforme. Calcular la distancia recorrida al cabo de 22 segundos.



7- Construir una grafica posición x vs tiempo t que cumpla las siguientes condiciones. Un cuerpo está en reposo por 5 segundos. Después se pone en movimiento con movimiento uniforme hasta llegar a una posición de 12 metros. Después se queda allí por 7 segundos y finalmente avanza por 4 segundos a una velocidad de 3 m/s. Calcular de la gráfica, la distancia recorrida y la velocidad que adquirió en el primer instante. .

Sesión No. 8: El movimiento acelerado uniforme.

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: indagar sobre el concepto del movimiento acelerado.
Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de sesión No. 8, cuaderno de los estudiantes.

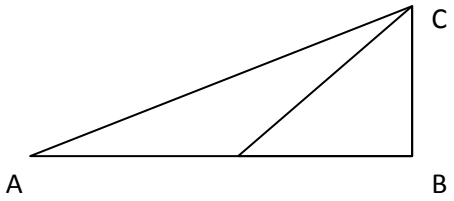
Marco Teórico:
TOMADO DE DISCURSOS Y DEMOSTRACIONES SOBRE DOS NUEVAS CIENCIAS

SAGR: … Por el momento, recogiendo el hilo de nuestra conversación, me parece que, hasta el presente, lo que hemos hecho es establecer la definición del movimiento uniformemente acelerado, del que trataremos en lo que a continuación sigue. Tal definición es:

Llamamos movimiento uniformemente acelerado aquel que, partiendo del reposo, va adquiriendo incrementos iguales de velocidad durante tiempos iguales.

SALV.: Una vez establecida tal definición, el autor supone y postula como verdadero un solo principio, que es el siguiente:

Doy por supuesto que los grados de velocidad alcanzados por un mismo móvil, en planos diversamente inclinados, son iguales cuando las alturas de los mismos planos son también iguales.



Llamemos altura de un plano inclinado a la perpendicular que cae desde la parte superior de dicho plano sobre la línea horizontal, trazada por la parte inferior del mismo plano inclinado. A modo de ilustración, sea la línea AB la horizontal, sobre la cual caen los dos planos inclinados CA y CD. A la perpendicular CB, que cae sobre la horizontal BA el autor la denomina altura de los planos CA y CD. Supone él que los grados de velocidad de uno y el mismo móvil, que descienda por los planos inclinados CA y CD, serán iguales si los comparamos en los puntos finales A y D, al ser la altura de ambos planos la misma; esto es, CB. Lo mismo ha de entenderse con respecto al grado de velocidad que alcanzaría el mismo móvil en el punto B si cayese desde C.

SAGR.: La verdad es que esta suposición me parece tan plausible que es digna de que se la acepte sin ninguna objeción, siempre y cuando supongamos también que queden fuera de consideración las resistencias externas posibles y que los planos sean lo suficientemente sólidos y tersos, así como que el móvil posea una figura

absolutamente redonda, de modo que ni el móvil ni el plano tengan la menor aspereza. Si dejamos de lado todas estas resistencias y dificultades, mi razón me dice, con toda naturalidad, que una bola pesada y absolutamente redonda, que descendiera por las líneas CA, CD y CB alcanzaría los puntos terminales A, D y C con impulsos iguales.

Por tanto, desde iguales alturas llegarán a la misma velocidad

Una cosa es la velocidad y otra EL CAMBIO DE DICHA VELOCIDAD A eso llamamos ACELERACIÓN.

Procedimiento:

1- Entregar a los estudiantes la Guía de Sesión No 8 (Contenida en la carpeta SESION 8 del CD)
2- Realice la exposición correspondiente a la presentación en Power Point titulada EL MOVIMIENTO ACELERADO contenida en la carpeta SESION 8 del CD. Los estudiantes tendrán en la Guía de Sesión el mismo texto con el fin de que hagan seguimiento y aclarar durante la exposición, la diferencia entre velocidad y aceleración (entendida esta última como cambio de velocidad). La Guía de Sesión se recogerá al terminar la exposición.

Observación: Para las próximas dos sesiones nuevamente deberán traer regla, lápiz y papel milimetrado

Sesiones No. 9 y 10: Representación del movimiento acelerado

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivo:

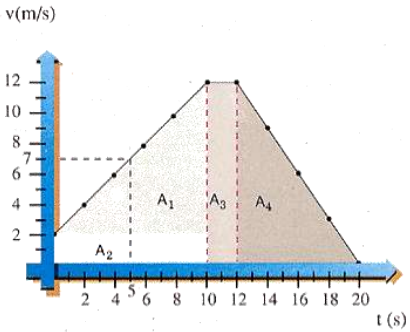
1. Representar el movimiento acelerado uniforme en gráficas velocidad-tiempo.
2. Interpretar adecuadamente las gráficas en situaciones cinemáticas
3. Usar el Teorema 2 para hallar las distancias en un movimiento acelerado uniforme

Conceptos previos: movimiento acelerado, movimiento uniforme, interpretación de gráficas.

Materiales: Guía de Sesión No.9 -10, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado
.

Marco Teórico:

Al igual que en las gráficas de posición-tiempo la interpretación de una gráfica velocidad-tiempo para un movimiento acelerado indica una serie de cosas en su interpretación. La pendiente de este tipo de gráficas indica medida del ritmo de variación de la velocidad con respecto al tiempo; a esto último es lo que llamamos ACELERACIÓN de acuerdo a la definición de Galileo.



.Las rectas paralelas al eje representan velocidad constante, las oblicuas una aceleración constante y las curvilíneas una aceleración variable (Estas últimas no las trabajaremos aquí).

Así una gráfica velocidad-tiempo rectilínea y paralela al eje del tiempo representa un movimiento de velocidad constante. Es decir, que la pendiente de la recta correspondiente sea nula indica que la aceleración es cero. Si se tratara de un cuerpo en reposo (velocidad nula), entonces la gráfica velocidad-tiempo se confundiría con el propio eje horizontal. Si la gráfica es una recta ascendente, y por tanto de pendiente constante y positiva, se tratará de un movimiento de aceleración constante y positiva.

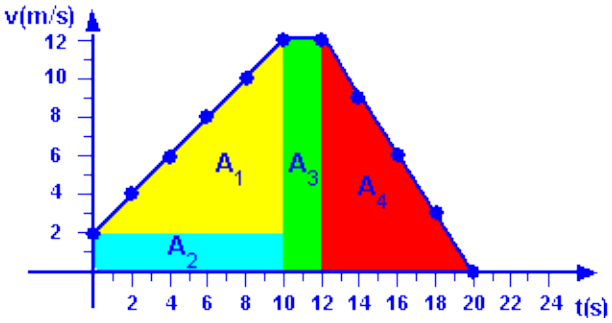
Si por el contrario la recta es descendente, es decir, de pendiente negativa, el movimiento será decelerado o retardado. Una gráfica velocidad-tiempo curvilínea o de pendiente variable representará un movimiento de aceleración variable.

Al igual que en el movimiento uniforme, el área en una gráfica velocidad-tiempo. Para encontrar la dependencia entre el tiempo y la distancia en un movimiento acelerado uniforme usaremos el siguiente teorema establecido por Galileo

TEOREMA 2: El tiempo, en que un móvil recorre un espacio con movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, es igual al tiempo en que el mismo móvil recorrería ese mismo espacio con movimiento uniforme, cuya velocidad es el promedio de la mayor y última velocidad del movimiento. (Sin demostración)

Veamos una ejemplificación de este teorema

t(s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
v(m/s)	2	4	6	8	10	12	12	9	6	3	0



Viene dado por el área comprendida entre la gráfica y el eje de abcisas.

$A_1 = \frac{10s \times 10\ m/s}{2} = 50\ m$

$A_2 = 10\ s \times 2\ m/s = 20\ m$

$A_3 = 2\ s \times 12 m/s = 24\ m$

$A_4 = \frac{8s \times 12\ m/s}{2} = 48\ m$

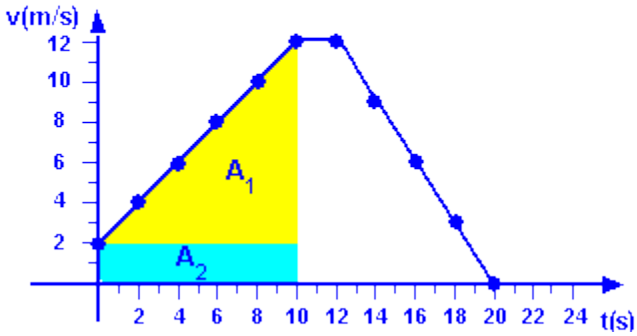
$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 =$
$= 142\ m$

El espacio total recorrido por el móvil es, pues

S = 142 M

Y a su vez el cálculo de la velocidad media por

t(s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
v(m/s)	2	4	6	8	10	12	12	9	6	3	0



Ahora, el espacio recorrido en estos 10 primeros segundos coincide con la suma parcial $A_1 + A_2$ y, por tanto

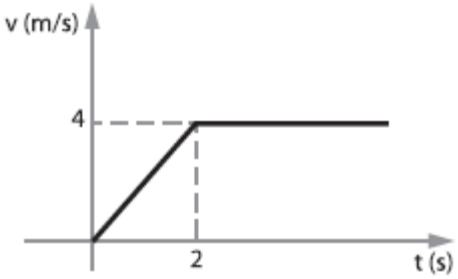
$Vm = \frac{70}{10} = 7{,}0\ m/s$

Procedimiento:

Se entrega a los estudiantes la Guía de Sesión No 9 -10 (la cual está dentro de la carpeta SESION 9 y 10 del CD). Dicha guía contiene gráficas que corresponden a situaciones relacionadas con el movimiento uniformemente acelerado. Son dos sesiones

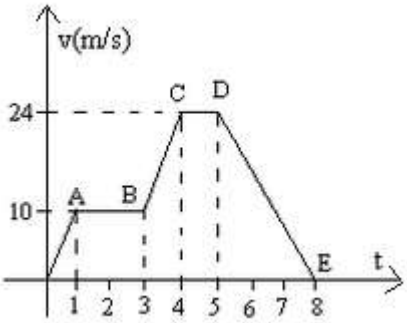
de trabajo así que las situaciones que queden pendientes se continuarán trabajando en la siguiente sesión. Asesorar a los estudiantes en caso de dudas. El trabajo se realizará en hojas papel milimetrado (no en las Guías de Sesión). Al final, recoger todo el trabajo hecho retornando a los estudiantes únicamente las gráficas que realizaron

1- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Una partícula parte del reposo con movimiento acelerado uniforme. Cuando el tiempo es de 2 segundos, su velocidad es de 4 m/s manteniéndola constante. Calcular la distancia recorrida por el móvil hasta los 6 segundos.

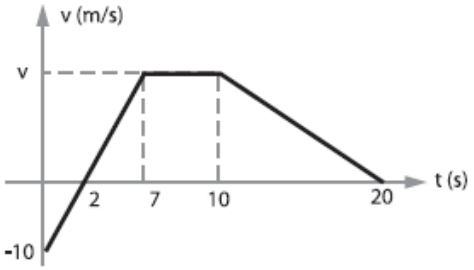
2- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Un móvil describe un movimiento rectilíneo. En la figura, se representa su velocidad en función del tiempo. Sabiendo que en el instante t=0, parte del origen x=0.

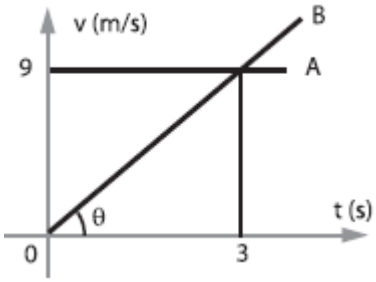
- Calcular el desplazamiento total del móvil, hasta los 8 segundos.
- Escribir la expresión de la posición x del móvil en función del tiempo, en los tramos AB y BC (Movimiento uniforme)

3- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



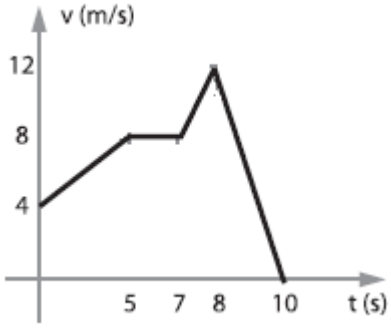
Un móvil en t = 0 está en Xo = - 50 m. Hallar la posición en t = 15 s.

4- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



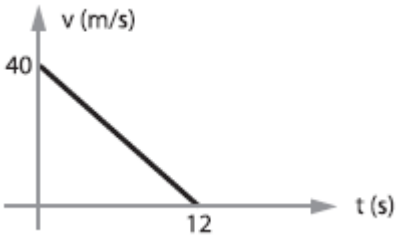
¿Qué tiempo tarda el móvil B para alcanzar al móvil A?

5- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Determinar la distancia recorrida hasta los 10 segundos.

6- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica



La cual representa a un auto que viaja a 40 m/s y frena, desacelerando uniformemente. Hallar la distancia recorrida entre los 7 y 10 segundos.

7- Construir una grafica posición x vs tiempo t y una velocidad v vs tiempo t que cumpla las siguientes condiciones. Un cuerpo se mueve uniformemente por 5 segundos a una velocidad de 10 m/s. Después acelera hasta llegar a una velocidad de 12 m/s después de otros cinco segundos y conserva esa velocidad por 5 segundos más después de lo cual empieza a desacelerar hasta llegar al reposo en 10 segundos. Calcular de la gráfica, la distancia recorrida y la velocidad que adquirió en el primer instante. .

8- Describa de acuerdo a los ejercicios y a la presentación de la sesión 8 la diferencia entre velocidad y aceleración

_____

_____

_____

_____

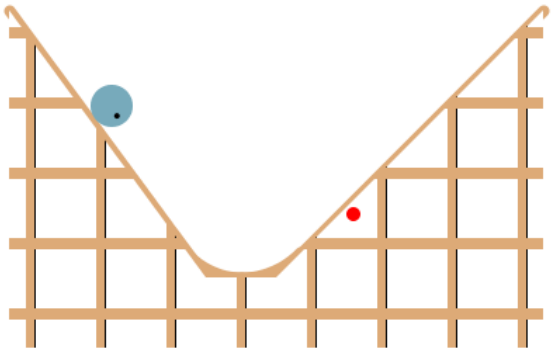
_____

_____

Sesión No. 11: La inercia galileana I

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: indagar acerca de la idea de la inercia galileana.
Conceptos previos: movimiento uniforme, movimiento acelerado y desacelerado.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador.
Marco Teórico (Para el docente):
Gran parte de los descubrimientos de Galileo sobre el movimiento de los cuerpos está basado en sus estudios con planos inclinados. Uno de estos descubrimientos se ilustra en la figura.



Se deja caer una pequeña esfera por un plano inclinado. La esfera rueda aumentando su velocidad, pues se acerca cada vez más al centro de la Tierra, hasta que llega a la base del plano. Entonces comienza a subir por un segundo plano y su velocidad disminuye ahora, pues se aleja del centro de la Tierra, hasta que se detiene y vuelve a caer.
Lo que observó Galileo es que, la altura que alcanza en el segundo plano es casi igual a la altura del punto de partida en el primer plano independientemente del ángulo de inclinación de ambos planos. Galileo atribuye la pequeña diferencia de alturas al rozamiento de la esfera con las superficies, y postula, apoyándose en profusos razonamientos, que de no ser por los efectos del rozamiento las alturas serían exactamente iguales. ¿Y si el ángulo de inclinación del segundo plano es igual a cero? En otras palabras, ¿y si el segundo plano es horizontal? En ese caso la esfera no podrá recuperar nunca la altura inicial y seguirá moviéndose indefinidamente con movimiento horizontal y uniforme hasta que algún obstáculo o el rozamiento del suelo la frenen. Efectivamente, Galileo comprobó que una bola que rueda por un plano inclinado continúa moviéndose horizontalmente y a velocidad prácticamente constante cuando llega a la base. De esta clase de observaciones surge el principio de inercia, que posteriormente Newton convertiría en su primera ley de la dinámica. En la inercia galileana, el científico italiano pensaba que, si no hubiese rozamiento, la esfera continuaría desplazándose con movimiento circular uniforme en torno al centro de la Tierra, es decir, a velocidad constante, pero manteniendo también constante su distancia al centro del astro al que pertenece. Realmente tenía razón: Si la Tierra fuese una esfera perfecta y no presentase obstáculos al movimiento de la bola, ésta continuaría desplazándose con movimiento circular uniforme sobre la superficie del planeta obligada por la fuerza gravitatoria que la Tierra ejerce sobre ella, de acuerdo con la primera ley de Newton, pero Galileo no pensaba en la atracción gravitatoria. Galileo pensaba que el movimiento circular uniforme

en torno al centro que a cada cuerpo le correspondiese era un nuevo movimiento natural independiente de la acción de otros cuerpos.

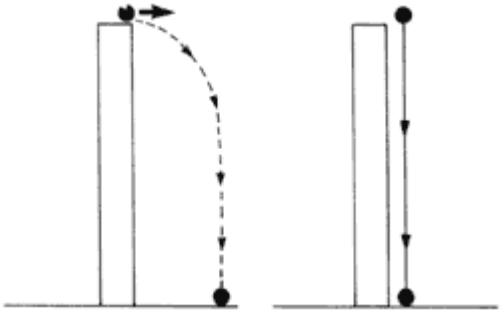
Procedimiento:

1- Realice la exposición de la presentación en Power Point titulada EL EXPERIMENTO DEL PLANO contenida en la carpeta SESION 11 del CD. Para ello es importante que, se haya leído previamente el diálogo contenido en la presentación y el marco teórico de la presente sesión. Cuando se expone se tomará el papel de Salviati (Galileo) y se les preguntará abiertamente a los estudiantes cada cuestión del diálogo. ellos responderán de acuerdo a la intuición (Simplicio). Una vez escuchada la respuesta de los estudiantes, se dará un click a la presentación mostrándose que lo que ellos piensan está de acuerdo con “el sentido común”. Sin embargo, la lógica de Galileo recreada mediante las animaciones de la presentación, revelará que en ausencia de impedimentos la esfera del plano tendrá un movimiento uniforme (muy diferente a lo que se pensaba inicialmente). Es importante aclarar dentro de la presentación que, NO ES NECESARIA LA EXISTENCIA de fuerzas para concebir un movimiento. Una vez hecha esta claridad, los estudiantes consignarán dicha conclusión tan importante en sus respectivos cuadernos.

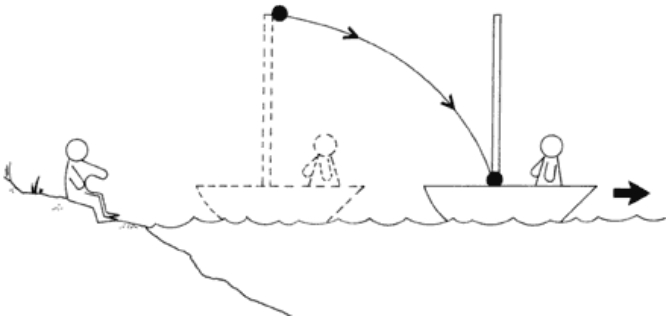
Sesión No. 12: La inercia galileana II y la caída de los proyectiles (movimiento semiparabólico).

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: reconocer la importancia de la inercia galileana en el movimiento terrestre por medio del ímpetus y familiarizarlos con la caída de los proyectiles.
Conceptos previos: movimiento uniforme, aceleración, movimiento sin fricción.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, cuaderno de los estudiantes
Marco teórico (para el docente):
La Tierra constituye el ejemplo más obvio de lo que es un sistema de referencia con respecto al cual se efectúan la mayoría de las mediciones. Podemos estudiar, por ejemplo, el movimiento de una piedra que se deja caer desde lo alto de un poste: la experiencia demuestra que la piedra cae exactamente a lo largo de una línea recta vertical (si no soplan vientos fuertes que la desvíen). Del mismo modo, si la piedra es arrojada con una cierta velocidad horizontal, la piedra cae siguiendo una trayectoria curva y llega al suelo a cierta distancia del pie del poste.



Pero la Tierra no es el único sistema de referencia disponible. ¿Qué pasa si se repite el experimento de la piedra que cae en un barco en movimiento? Supongamos que la piedra se suelta desde lo alto de un mástil. ¿Caerá la piedra justo al pie del mástil o quedará rezagada debido al movimiento del barco? Esto era un problema filosófico que, en la época de Galileo, se trataba de resolver estudiando los escritos de Aristóteles y otros pensadores de la Antigüedad. No sabemos si Galileo realizó el experimento en un barco o en el laboratorio de su casa, pero podemos afirmar que él comprendió por primera vez las profundas implicaciones de ese problema.



En el ejemplo del barco, la piedra caería justo al pie del mástil si no fuera por el aire que la empuja hacia atrás. Para evitar complicaciones innecesarias, se puede realizar el experimento en el interior del barco, donde el aire está en reposo. En este caso; la caída de la piedra ocurre exactamente como si el barco no se moviera. Un experimentador que se encuentra dentro de un barco que avanza en línea recta y a una velocidad constante no puede decidir, por ningún experimento físico, si el barco se mueve. Tendría que asomarse por una escotilla para saberlo. (Es muy importante que el barco se mueva en línea recta y no varíe su velocidad; si éste no es el caso, el experimentador podrá adivinar que se mueve e incluso sentirse mareado por el movimiento; volveremos a este punto más adelante.)

La trayectoria de la piedra, vista en el sistema de referencia que es el barco, es una línea recta vertical. En cambio, en el sistema de referencia de la tierra firme, la trayectoria es una parábola. Estas dos descripciones de un mismo fenómeno físico son perfectamente compatibles entre sí: un observador en tierra firme ve una piedra que se arroja con una velocidad horizontal que es precisamente la velocidad del barco y ve la piedra caer siempre pegada al mástil, que se mueve con la misma velocidad; un observador en el barco ve simplemente una caída vertical. Tanto el barco como la tierra firme son sistemas de referencia aceptables, y es sólo una cuestión de conveniencia escoger el más apropiado.

Procedimiento:

1- Realice la exposición de la presentación en Power Point titulada EL EXPERIMENTO DEL NAVÍO contenida en la carpeta SESION 12 del CD. Para ello es importante que, se haya leído previamente el diálogo contenido en la presentación y el marco teórico de la presente sesión. Se inicia la exposición mostrando animaciones sobre la prueba aristotélica de la torre, pasando después a trasladar la misma al navío como lo hizo Galileo y a través del diálogo mostrar que no es una prueba contundente en favor de la inmovilidad terrestre. Hay que tener en cuenta que gracias a la inercia galileana y al ímpetus, una Tierra estática y una en movimiento uniforme son sistemas de referencia equivalentes. Se concluye de la presentación que el tiempo de caída en forma rectilínea y en forma semiparabólica es el mismo. Una vez hecha esta claridad, los estudiantes consignarán dicha conclusión tan importante en sus respectivos cuadernos.

Sesión No. 13: Repaso final de la unidad.

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: repasar todos los conceptos vistos en la unidad didáctica mediante un video
Conceptos previos: movimiento uniforme, aceleración, movimiento sin fricción, inercia, ímpetus, conservación del movimiento, gráficas cinemáticas.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador con parlantes.
Marco Teórico
La presente sesión pretende repasar todos los conceptos vistos a lo largo de la unidad didáctica. Por ello, solo puede ser aplicada por un docente que haya desarrollado como tal la misma y concluirá mostrando un documental que reúne todas estas cuestiones a lo cual el docente dará respuesta a las inquietudes de los estudiantes.

Procedimiento:

1- La sesión debe iniciar fuera del aula de clase en un espacio abierto y preferiblemente que tenga dos pisos.
2- Dos estudiantes subirán a un segundo piso y lanzarán dos pequeños objetos que sean idénticos (por ejemplo, dos marcadores de tablero de la misma marca). Si los estudiantes, se ponen de acuerdo, no habrá diferencias perceptibles en los tiempos de caída de los objetos. Se verá que el cuerpo que cae verticalmente demora el mismo tiempo que el que se mueve semiparabólicamente (¡para sorpresa de todos!).

3- Una vez concluida esta corta experiencia, llevar a un recinto adecuado para proyectar el video de la serie “GALILEO EL ARTE DE LA CIENCIA – CAPÍTULO 1: EL TELESCOPIO” contenido en la carpeta SESION 13 del CD. Hay dos versiones en .mpeg y .flv para garantizar que pueda ser en efecto visto
4- Finalizada la proyección se procederá a responder todas las inquietudes de los estudiantes que hayan tenido a lo largo de la presente unidad didáctica se sacarán conclusiones y se recibirán las sugerencias.

Anexo B: Pre- Guías aplicadas a los estudiantes de Décimo.

PRE-GUIA No.1

ESTABLECER LA POSICIÓN DE UN CUERPO

Objetivo: Identificar la importancia de definir un sistema de referencia en su vida cotidiana para indicar la posición de un objeto.

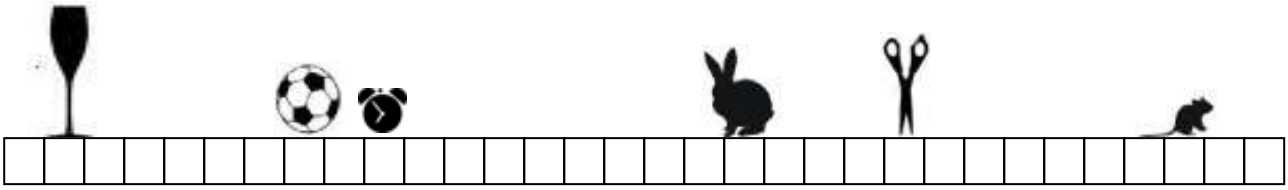
Recursos: Guía de trabajo, esferos, lápiz, nociones preliminares.

Términos Importantes: sistema o punto de referencia, posición, distancia.

Actividades

Este cuestionario no es un test ni un examen. Todas las respuestas son válidas pues representan lo que usted piensa sobre unas situaciones planteadas. Por favor lea atentamente las instrucciones que se dan y en caso de tener alguna pregunta o no entender alguna palabra, levante la mano y la persona responsable solucionará su inquietud.

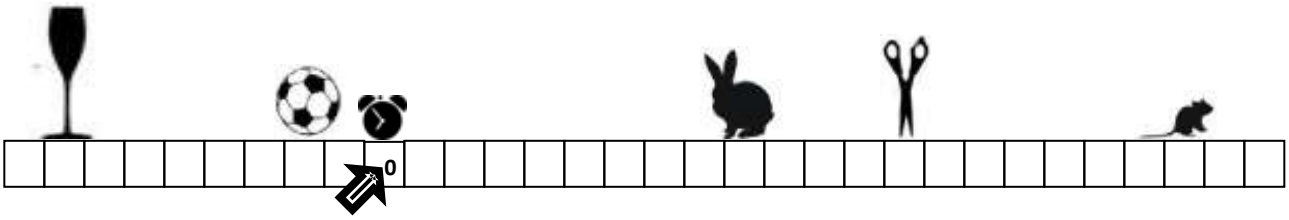
1. La siguiente figura muestra una cinta larga, sobre la cual se han ubicado algunos objetos y animales.



Considerando que cada cuadrito de abajo mide 10 cm, complete la siguiente tabla

Objeto o Animal	Ubicación
Balón	
Conejo	
Copa	
Despertador	
Ratón	
Tijeras	

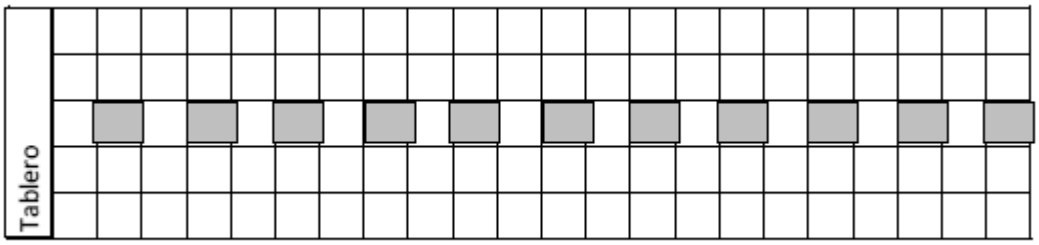
2. A continuación, mostraremos la misma figura pero considerando que el despertador está en la **posición 0 cm**. Con esta información complete nuevamente la tabla.



Objeto o Animal	Ubicación
Balón	
Conejo	
Copa	
Despertador	0 cm
Ratón	
Tijeras	

3. En un salón, 5 estudiantes se sientan en los puestos de una fila, ubicándose de esta forma
   - Andrés es el primero de la fila
   - Pedro está tres puestos atrás de Mateo
   - Entre Pablo y Andrés hay un puesto vacío.
   - Mateo está siete puestos delante de Juan.
   - Pablo está un puesto delante de Mateo.

Ubique en el siguiente dibujo a los estudiantes en el orden correcto.



4. ¿Las ubicaciones de los objetos (o animales) halladas en el ejercicio 1 coincidieron con las halladas en el ejercicio 2? Describa a continuación las razones por las que fueron o no iguales

5. Explique las razones para que la ubicación de los estudiantes en el ejercicio 3 pudiese ser hallada correcta y fácilmente.

6. ¿Qué se debe tener en cuenta para poder determinar la ubicación de algo?

Gracias por su colaboración!

PRE-GUIA No.2

LAS COSAS SE MUEVEN Y CÓMO

Objetivo: Reconocer los argumentos para reconocer el movimiento de algo y relacionarlos con el significado de velocidad y/o aceleración en su vida cotidiana.

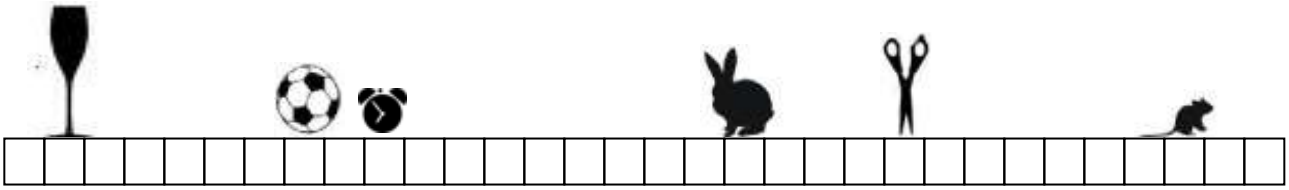
Recursos: Guía de trabajo, esferos, lápiz, nociones preliminares.

Términos Importantes: distancia, cambio, velocidad, aceleración.

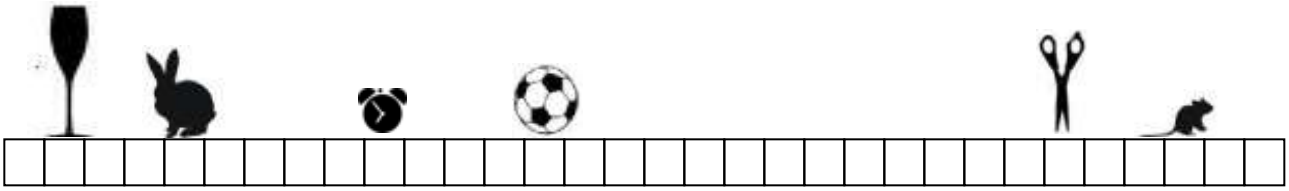
Actividades

Este cuestionario no es un test ni un examen. Todas las respuestas son válidas pues representan lo que usted piensa sobre unas situaciones planteadas. Por favor lea atentamente las instrucciones que se dan y en caso de tener alguna pregunta o no entender alguna palabra, levante la mano y la persona responsable solucionará su inquietud.

1. Retomamos la figura que muestra una cinta larga, sobre la cual se han ubicado algunos objetos y animales.



Después de un tiempo, volvemos a observar la cinta y los vemos en las posiciones que mostramos a continuación



¿Qué cambios puede ver entre el primer y segundo dibujo? ¿Qué puede concluir?

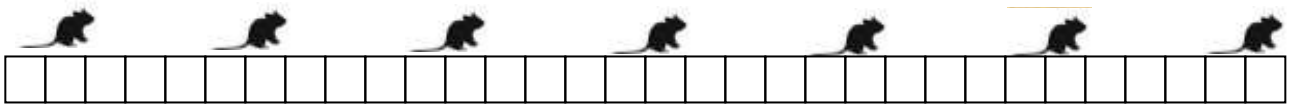
2. ¿Cómo puede identificar que algo se está moviendo?

3. ¿Qué es para usted velocidad? ¿Cómo puede saber entre dos objetos en movimiento cuál es más veloz?

4. Si quisiera medir la velocidad de algo que se está moviendo cómo haría.

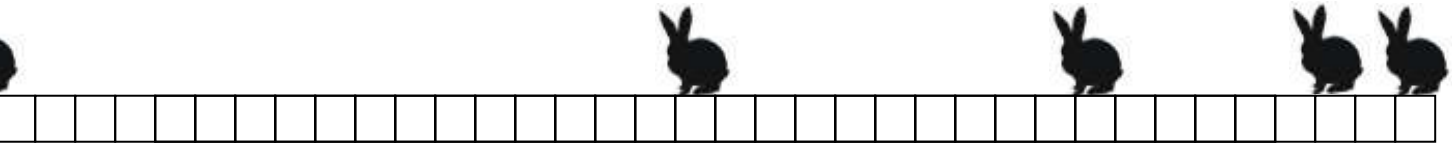
5. Si dos objetos recorren distancias diferentes ¿Cómo saber cual es más veloz?

6. Considere únicamente al pequeño ratón de la figura anterior. Éste se está moviendo ahora como se mostrará a continuación



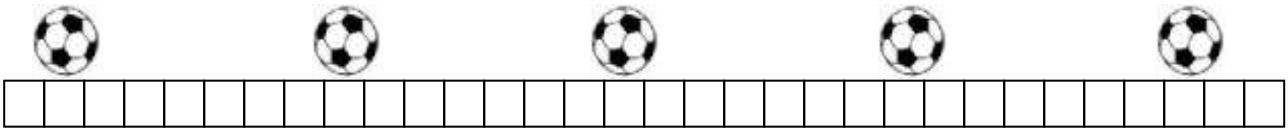
Si entre cada ubicación del ratón ha transcurrido **exactamente un segundo** ¿Cómo podría saber la velocidad del ratón? ¿Habrá aceleración del ratón? Explique

7. Por otra parte, el movimiento del conejo es el siguiente



Si entre cada salto del conejo ha transcurrido **exactamente un segundo** ¿Es más rápido o lento que el ratón? ¿Habrá aceleración del conejo? Explique

8. Finalmente, si sobre la cinta vemos que alguien patea el balón de tal modo que entre cada posición del balón ha pasado **exactamente** **un** **segundo** tal y como se muestra a continuación.



¿El balón va rápido o más lento que el ratón anterior? ¿Y que el conejo? Explique.

¿Podría hablar de fuerzas actuando sobre el balón? Explique

Gracias por su colaboración

Anexo C: Prueba o test aplicado a los estudiantes (Décimo y Once).

PLANTEAMIENTO DE SITUACIONES

(Test)

Actividad

Por favor lea atentamente cada una de las situaciones planteadas y marque con una X la respuesta que usted considera de acuerdo a sus conocimientos.

1. Un cuerpo se considera que está en movimiento cuando a medida que transcurre el tiempo
   a. Una fuerza hace cambiar su posición en el espacio.
   b. Se desplaza de un sitio a otro.
   c. Su velocidad es diferente de cero.
   d. Cambia su posición, respecto a un marco de referencia.

2. Para mantener un cuerpo en movimiento se necesita que
   a. Se le aplique permanentemente una fuerza.
   b. Se le imprima una velocidad.
   c. Cambie su posición respecto a un marco de referencia.
   d. Se encuentre en un medio libre de fricción y demás impedimentos.

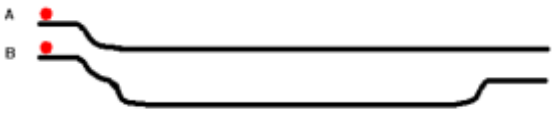
3. Un objeto está cayendo desde cierta altura con dirección al suelo. Teniendo en cuenta que no hay rozamiento con el aire, es correcto decir que
   a. Su aceleración es constante.
   b. Su velocidad es constante.
   c. Su aceleración ni su velocidad son constantes.
   d. Su aceleración y su velocidad son constantes.

4. La aceleración del objeto en la situación anterior, justo antes de llegar al suelo tiene un valor (Considerar $g=10\ m/s^2$)
   a. Igual a cero
   b. Ligeramente menor que g
   c. Igual a g
   d. Ligeramente mayor que g

5. Suponga que una pelota se lanza verticalmente hacia arriba. Cuando llega a su punto más alto podemos decir que
   a. Su velocidad y su aceleración son diferentes de cero.
   b. Su velocidad es cero y su aceleración es diferente de cero.
   c. Su velocidad es diferente de cero y su aceleración es cero.
   d. Su velocidad y su aceleración son iguales a cero

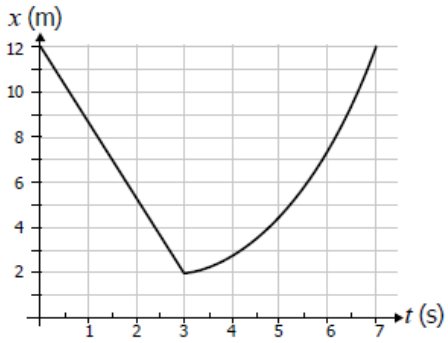
6. Se tienen dos objetos idénticos en la cima de un edificio alto. Uno se arroja hacia arriba, y el otro hacia abajo, ambos con la misma velocidad inicial. Sin tener en cuenta la resistencia del aire, podemos decir con respecto a sus velocidades que cuándo éstos llegan al suelo que
   a. El objeto que se lanzó hacia arriba tiene una mayor velocidad
   b. El objeto que se lanzó hacia abajo tiene una mayor velocidad
   c. Ambos objetos llegan a la misma velocidad.
   d. Es imposible decir cual tiene mayor velocidad porque no se ha mencionado la altura del edificio.

7. Dos esferas idénticas se sueltan al mismo tiempo, desde el reposo, en el extremo izquierdo de las pistas A y B como muestra la figura de esta situación. En estas condiciones, la esfera que llega primero al final de su pista con mayor velocidad es



   a. La de la pista A
   b. La de la pista B
   c. Ninguna pues las dos tienen la misma velocidad
   d. No es posible decirlo debido a la forma tan irregular de la pista B.

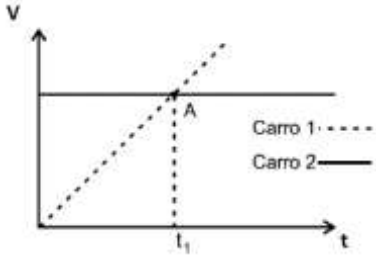
8. Un motociclista se mueve en línea recta. La gráfica de su posición X en función del tiempo t es representada en esta situación.
   En el intervalo comprendido entre los 3 y 7 segundos, se puede afirmar que el motociclista tiene
   a. Velocidad constante positiva, y está avanzando.
   b. Aceleración positiva, y está avanzando.
   c. Velocidad variable negativa, y está retrocediendo.
   d. aceleración negativa, y está retrocediendo



9. Un carro se mueve a lo largo de un tramo recto de la carretera. La gráfica de esta situación, muestra la posición X como una función del tiempo t para dicho carro. De la gráfica se puede deducir que éste

a. Aumenta su velocidad permanentemente.
b. Disminuye su velocidad permanentemente.
c. Aumenta su velocidad en una parte del tiempo y la disminuye en otra.
d. Se mueve con velocidad constante

10. En esta situación, se plantea la gráfica de la velocidad v en función del tiempo t para dos carros que parten simultáneamente desde el mismo punto por una carretera recta. Con respecto al punto A, podemos decir que representa el instante en que



a. El carro 1 alcanza al carro 2
b. La aceleración es igual para los dos carros
c. La velocidad relativa entre los dos carros es cero
d. Los dos carros toman distinta dirección

11. Con respecto a la situación anterior, desde el momento que parten hasta el instante t_1, el carro 1 ha recorrido una distancia
a. Igual a la del carro 2, porque t_1 es el instante en que se encuentran
b. Mayor que la del carro 2, porque está moviéndose aceleradamente
c. Que no puede ser determinada, porque no se conocen las condiciones iniciales
d. Menor que la del carro 2, porque antes de t_1 la velocidad del carro 1 siempre es menor que la del 2

12. Se lanza una pelota hacia arriba dentro del interior de un vagón de un tren que se mueve en la dirección indicada en la figura de esta situación. ¿Dónde caerá con relación al punto de origen en la plataforma si el tren se mueve con velocidad constante?

a. En el mismo punto de lanzamiento
b. Adelante del punto de lanzamiento
c. Atrás del punto de lanzamiento
d. A un lado del punto de lanzamiento

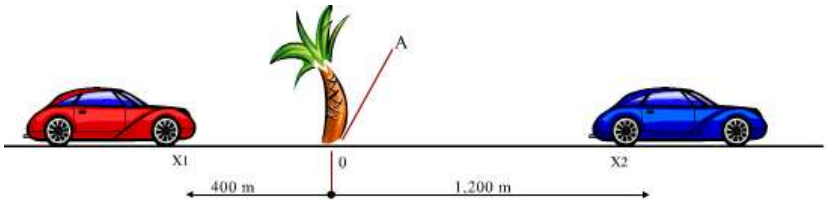
Anexo D: Guías de Sesión para los estudiantes.

Guía de Sesión No. 1: Qué es la posición y el movimiento.

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la gran importancia de identificar un sistema de coordenadas respecto al cual caracterizamos un movimiento.
Conceptos previos: los previos dados por los estudiantes
Marco Teórico:
La forma más simple del movimiento es el cambio de posición de un objeto en el espacio. Para determinar la posición de un cuerpo en el espacio es necesario referir dicha posición en relación con otro cuerpo denominado inicialmente como *"cuerpo de referencia".* Su selección es arbitraria, puede ser un árbol, una casa, el Sol, etc. Esto implica que la posición de un cuerpo es una magnitud relativa, dependiente del objeto tomado como cuerpo de referencia.

Sin embargo, dicho cuerpo puede llegar a moverse o sufrir cambios y por ello la tarea se simplifica, si al cuerpo de referencia lo asociamos a un punto (de referencia) que lo sustituye. Habitualmente este punto se toma como origen de un sistema de coordenadas, lo que permite determinar la posición del cuerpo mediante sus coordenadas relativas al sistema seleccionado, y describir su movimiento mediante el cambio de dichas coordenadas. Inicialmente veámoslo para el caso de una línea recta.



Tenemos dos automóviles que se mueven por una carretera recta como lo indica la figura. Tomemos como cuerpo de referencia el árbol A y tracemos, a lo largo de la carretera el eje de coordenadas asociando a dicho árbol un punto A que será la coordenada cero del eje. Por convenio, las coordenadas que se encuentran a la derecha del origen se consideran positivas y las que se encuentran a la izquierda negativas. La posición del automóvil 1 (rojo) se determinará entonces por la coordenada X_1 = - 400 m y la del automóvil 2 (azul) por la coordenada X_2 = 1200 m
De esta forma la posición de un cuerpo que se mueve según una dirección rectilínea está determinada por una sola coordenada, la cual representa la medida de la distancia que va desde el origen de coordenada hasta el cuerpo en cuestión. El punto 0 de referencia (que existirá independientemente de la presencia o no del árbol), el sistema de coordenadas asociado a él y el instrumento de medición de tiempo, constituyen el sistema de referencia con respecto al cual se analiza el movimiento de un cuerpo. Elegir un sistema u otro de referencia depende del observador que estudia el movimiento.
De aquí podemos generalizar esto para el plano y el espacio; en éste último tendremos tres coordenadas X, Y y Z. Sin embargo, las ideas de posición y sistema de coordenadas seguirán siendo válidas como lo hicimos a lo largo de un solo eje (como en la carretera rectilínea). Con ello podemos referirnos al movimiento de la siguiente forma

Un cuerpo está en movimiento respecto a un sistema de coordenadas elegido como fijo, cuando sus coordenadas varían a medida que transcurre el tiempo.[52]

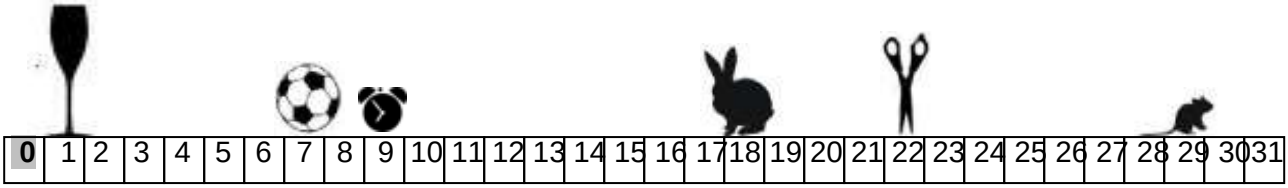
Materiales: Guía de Sesión No 1, cuaderno de los estudiantes

Procedimiento:

1- Leer con atención esta Guía de Sesión.

2- Después de leer con atención el marco teórico responder a las siguientes situaciones

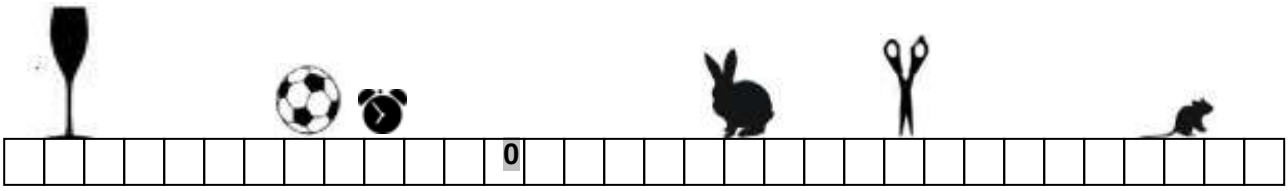
- SISTEMA A: Determine las posiciones de los siguientes objetos tomando como referencia el cero como indica la gráfica y considerando que la distancia de cada cuadrito es de 1 cm (Fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)



SISTEMA A

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
1 cm					

- SISTEMA B: Determine ahora las posiciones de los siguientes objetos tomando como referencia el cero como ahora indica la gráfica (Cada cuadrito es 1 cm fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)

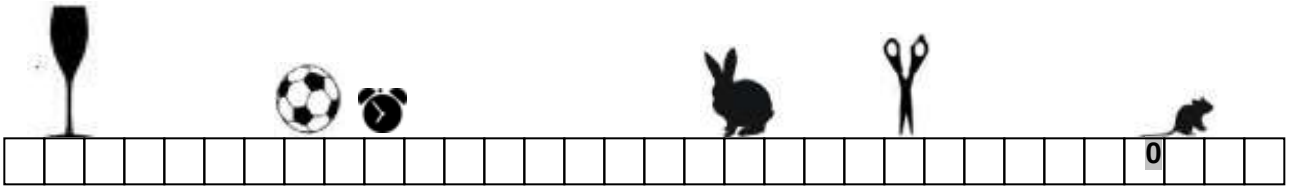


SISTEMA B

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
- 11 cm					

[52] Esta definición es tomada de la lectura "Diálogo en un Tren" del libro de física de Maiztegui-Sábato que se trabajará posteriormente en esta sesión.

- SISTEMA C: Finalmente determine las posiciones de los tomando como referencia el cero que ahora indica la gráfica (Cada cuadrito es 1 cm fíjese en el ejemplo, consulte a su profesor en caso de dudas)



SISTEMA C

Copa	Balón	Despertador	Conejo	Tijeras	Ratón
- 27 cm					

- Alguno de los tres sistemas anteriores es mejor que el otro. Explique.

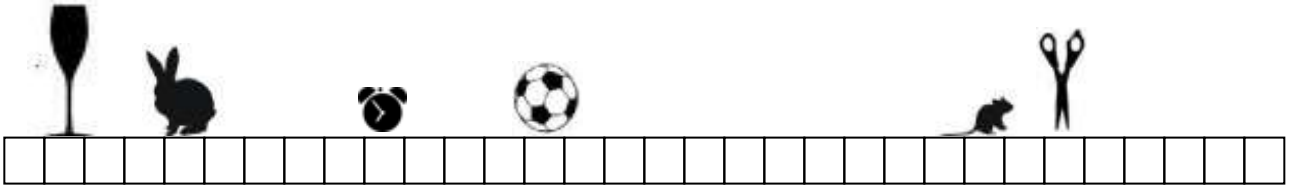
_____

_____

_____

_____

- Si las nuevas posiciones (después de un tiempo) de los objetos son las siguientes



Determine las nuevas posiciones en los tres sistemas (fíjese en el ejemplo pero consultar a su profesor en caso de dudas)

Objeto o Animal	SISTEMA A	SISTEMA B	SISTEMA C
Balón	13 cm	1 cm	- 14 cm
Conejo			
Copa			
Despertador			
Ratón			
Tijeras			

"Asociamos al movimiento de alguna forma con cambios de posición, pero aún algo falta…"

3- Responder las siguientes preguntas con base en la lectura “Diálogo en un tren” de la física de Maiztegui-Sábato que ha sido entregado por su profesor.

- ¿Qué tipos de cambio son importantes al considerar un objeto en movimiento?

- En plena época de Galileo, se pensaba que la tierra estaba quieta y todo el cosmos giraba en torno a ella. Mencione las razones que usted considera pudieron dale validez a dicho pensamiento.

- ¿Se podría pensar que las cosas “quietas” podrían estar en movimiento? Argumente su respuesta.

Guía de Sesión No. 2: Presentación de la forma dialéctica de Galileo Galilei en su obra y formalización del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivos:

1. Identificar los fenómenos del movimiento a través del conocimiento de las obras de Galileo Galilei y su forma de diálogo.
2. Conocer la forma en que Galileo Galilei define el movimiento uniforme

Conceptos previos: movimiento, posición, coordenadas, sistema de coordenadas.

Marco Teórico:

Galileo es considerado por muchos como el fundador de la ciencia moderna haciéndose entonces merecedor al título de padre de la física matemática. Fue importante en esa revolución de la inteligencia humana contra la aceptación crítica en la física de la autoridad de Aristóteles, y trazó las líneas de un método en el que la experimentación y el raciocinio constituían los dos pilares fundamentales e imprescindibles para la investigación científica

Estudió la caída de los cuerpos, las leyes del movimiento de caída de los cuerpos, el movimiento del péndulo y construyó el primer anteojo astronómico, posteriormente llamado Telescopio con el cual hizo fantásticos descubrimientos.

Sus principales conocimientos fueron publicados en muchas obras, pero destacamos entre ellas a dos fundamentales las cuales son

- Diálogos sobre los dos sistemas máximos del Mundo
- Discursos y demostraciones sobre dos nuevas ciencias.

Estas dos obras están construidas en forma de Diálogo. El diálogo es un instrumento que es capaz de averiguar la verdad filosófica por medio del debate; a esto se le conoce también como **DIÁLECTICA** y como ejemplo tenemos los diálogos de Platón en la antigua Grecia.

Un diálogo consiste en una conversación (que en el caso de las obras de Galileo es muy gentil) sostenida entre sus protagonistas llamados interlocutores, y como tal, se divide en parlamentos que discuten a lo largo de varias jornadas o días.
.
En el caso de las obras de Galileo tenemos a tres interlocutores los cuales son los siguientes:

- ✓ Sagredo: es una persona inteligente que representa la visión neutral de quien busca la verdad sin aferrarse a una posición alguna. Será el papel que representará el profesor de la clase. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR ROJO)

- ✓ Simplicio: representa a la intuición y al sentido común y sus ideas no contradicen lo que vemos a nuestro alrededor, será pues el defensor de un muy antiguo físico filósofo griego llamado Aristóteles. Será el papel que representarán ustedes estudiantes en el diálogo. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR VERDE)
- ✓ Salviati: representará a la propia visión de un físico italiano llamado Galileo Galilei. Será nuestro maestro y con sus ideas veremos nuevas concepciones a esta llamada nueva ciencia y en particular del movimiento. (SUS PARLAMENTOS SE REPRESENTAN EN TONO COLOR AMARILLO)

Ahora bien, ya que tenemos de la clase anterior claro el concepto de movimiento y la importancia de un sistema de referencia veamos cómo está definido el movimiento uniforme según Galileo

Definición: Entiendo por MOVIMIENTO UNIFORME aquel cuyos espacios recorridos por un móvil en cualesquiera tiempos iguales, son entre sí iguales.

* De acuerdo con esta definición de Galileo significa que se recorren espacios iguales en tiempos iguales; significando que LA VELOCIDAD NUNCA CAMBIA.*

De esta definición se desprenden cuatro axiomas

AXIOMA I: Tratándose de un mismo movimiento, uniforme, el espacio recorrido durante un tiempo más largo, es mayor que el espacio recorrido durante un tiempo más breve.
AXIOMA II: Tratándose de un mismo movimiento uniforme, el tiempo, en que un espacio mayor es recorrido, es más largo que el tiempo en que es recorrido un espacio menor.
AXIOMA III: Un espacio recorrido con mayor velocidad durante un mismo tiempo, es mayor que el espacio recorrido con menor velocidad.
AXIOMA IV: La velocidad con que, durante un mismo tiempo, es recorrido un espacio mayor, es mayor que la velocidad con que es recorrido un espacio menor.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de Sesión 2, cuaderno de los estudiantes.

Procedimiento:

1- Después de haber prestado mucha atención a la exposición que hizo su profesor sobre las generalidades de la obra y la dialéctica de Galileo además de la manera en que él define el Movimiento Uniforme desarrolle las siguientes cuestiones (también puede apoyarse en la información de la presente guía)

- La presentación menciona que Galileo es el padre de la física-matemática. ¿Qué significado tiene para usted esto?

- ¿Por qué cree que es importante la presencia de un interlocutor intermedio (Sagredo) en el diálogo?

- ¿Cree que los descubrimientos hechos por Galileo con el telescopio fueron importantes en su teoría del movimiento? Explique

2- Represente mediante un dibujo la manera en que interpreta cada uno de los cuatro axiomas. Consulte a su profesor y consigne en su cuaderno las observaciones que tiene que le hacen con las debidas correcciones (Son dibujos, no gráficas).

Guía de Sesión No. 3: Medir el movimiento uniforme

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: identificar y medir el movimiento uniforme con base en lo que formula el Teorema 1.

Conceptos previos: distancia, tiempo, movimiento, movimiento uniforme.

Marco teórico:
En la clase anterior, quedo enunciado un teorema como resultado de los cuatro axiomas de Galileo Galilei para el movimiento uniforme.
TEOREMA 1: Si un móvil, que marcha con movimiento uniforme y con velocidad constante, recorre dos espacios, los tiempos de los trayectos son entre sí como los espacios recorridos.

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad o\ bien \quad \frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2}$$

donde las *x* representan distancias y las *t* tiempos (Sin demostración). Las anteriores proporciones nos permitirán hacer cálculos así como encontrar la velocidad de un movimiento uniforme.

Materiales: Guía de Sesión No.3, metro, cronómetro, calculadora.

Procedimiento:

1- Organícense en grupos de cuatro estudiantes y después ubicarse en un espacio abierto como el patio con el fin de que puedan caminar o trotar.
2- Una vez afuera, deben distribuirse de la siguiente forma: un estudiante será encargado del cronómetro, otro de medir las distancias, otro de registrar los datos y otro será encargado de caminar (o marchar) procurando en lo posible que su movimiento sea uniforme.
3- El estudiante encargado de caminar, lo hará “lo más parejo posible” a lo largo de un trayecto recto una distancia de 10 mts. Se medirán, los tiempos varias veces (4) y se hallará el promedio entre ellas

Tiempo1	Tiempo1	Tiempo1	Tiempo1	PROMEDIO

4- Con ello podrá predecir cuál será el tiempo que demorará al recorrer el tiempo anterior usando

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

Y con dicha predicción será posible determinar la velocidad del estudiante por la expresión

$$\frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2} \quad (e\text{l resultado quedará medido en m/s})$$

5- Realice también la predicción para 20 y 30 mts. Recordar que en todos la velocidad es la misma aunque se recorran diferentes distancias

Distancia	Predicción del tiempo necesario
10 mts	
20 mts	
30 mts	

VELOCIDAD: _____ m/s

6- Confronte los datos calculados, ahora con el estudiante recorriendo las distancias mencionadas (Aunque en esta experiencia no se busca hallar el error porcentual entre el valor teórico y el experimental, sino ver que los valores predichos se acercan bastante) y realizar el promedio de las medidas.
7- Realice los pasos 4, 5 6 y 7 pero con el estudiante marchando, y ahora obtenemos una velocidad mayor.

Guía de Sesión No. 4: Sesión de ejercicios movimiento uniforme

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: desarrollar ejercicios teóricos sobre el movimiento uniforme.

Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.

Materiales: Guía de Sesión No.4, cuaderno de los estudiantes, calculadora.

Marco Teórico:
Las dos expresiones derivadas del Teorema 1 y verificadas en la sesión anterior nos permitirán medir la velocidad y las variables concernientes al movimiento uniforme

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad o\ bien \quad \frac{x_1}{t_1} = \frac{x_2}{t_2}$$

consiguiendo que podamos resolver ejercicios de este tipo de fenómeno.

Procedimiento

Resuelva los siguientes ejercicios (consultar a su profesor en caso de dudas)

1- Calcular la velocidad de una persona que camina con movimiento uniforme dando un paso de un metro cada 0.5 segundos.
2- Calcular la velocidad de una bola de bolos que tiene un movimiento uniforme y la cual recorre 4 metros en 2 segundos.
3- Calcular la velocidad de una pelota de tenis con movimiento uniforme y que recorre la longitud completa de la cancha (24 metros) en 0.5 segundos.
4- Cuál es la velocidad promedio de un guepardo que corre 140 metros en 5 segundos.
5- Un cuerpo tiene movimiento uniforme desplazándose a una velocidad de 30 m/s. ¿Cuál es la distancia que recorrerá en 12 s?
6- Un móvil que se mueve con movimiento uniforme. ¿Cuánto tiempo se demorará en recorrer 258 km si lleva una rapidez de 86 km/h?
7- ¿Qué tiempo necesitó un móvil en movimiento uniforme si recorre 644 m a una velocidad de 11 m/s?
8- Dos móviles parten de un mismo punto con movimiento uniforme. Uno se dirige hacia el este a 80 km/h y el otro hacia el oeste a 90 km/h. Calcular la distancia que los separa en 2 horas.
9- ¿A cuántos m/s equivale la velocidad de un móvil que se desplaza a 72 km/h?

Unidades de Conversión → 1 Km= 1000 m y 1 h= 3600 segundos

Observación: Para la próxima sesión, deberá hacer una consulta sobre los aportes matemáticos y científicos que hizo el pensador Nicolás de Oresme.

Guía de Sesión No. 5: El Lenguaje de las gráficas

Tiempo estimado: 120 minutos

Objetivo: reconocer la importancia del lenguaje de las gráficas al interior de todas las disciplinas y su posterior uso como una herramienta importante en la comprensión de la cinemática

Conceptos previos: plano cartesiano.

Materiales: videobeam o monitor gigante, computador con parlantes, Guía de sesión No.5, cuaderno de los estudiantes.

Marco Teórico:
El lenguaje desempeña un papel fundamental en el aprendizaje, hasta el punto que diversos estudios han puesto de relieve que, en determinados casos, la falta de significación del lenguaje utilizado es un obstáculo insalvable para la adquisición de un concepto o para el desarrollo de un proceso. En particular, en el aprendizaje de las matemáticas, el lenguaje de las gráficas se muestra como una gran alternativa, ya que éstas son medios potentes para tratar gran número de problemas. Las gráficas se utilizan en casi todas las disciplinas: física, biología, química, economía, sociología, psicología, etc. Nos dan una rápida información visual de la relación entre magnitudes.

Sin embargo, los vestigios de este lenguaje estuvieron en el pensador del siglo XIV Nicolás de Oresme. En su obra, Tractatus aparecen cualidades (en vez de magnitudes como tal) relacionadas matemáticamente por primera vez. Todo lo que varía, decía Oresme, lo podemos imaginar como una cantidad continua representada mediante un segmento rectilíneo. Y trasladó al plano lo que hasta entonces habían hecho los geógrafos sobre la esfera. Mantuvo incluso los nombres, y llamó longitud y latitud a los antepasados de lo que hoy llamamos abscisa y ordenada. Siglos después, Galileo Galilei también haría una representación gráfica similar a la que hizo Oresme en sus obras. Sin embargo, los fundamentos que usamos hoy en día en las gráficas surgieron gracias a Pierre de Fermat y René Descartes.

Procedimiento:

1- Su profesor ha organizado un debate de máximo 15 minutos en torno a lo que hayan consultado sobre los aportes matemáticos y científicos de Nicolás de Oresme. Su participación es importante para enriquecer el mismo consignando las conclusiones mas importantes en su cuaderno,.
2- Preste mucha atención al documental sobre el lenguaje de las gráficas
3- Responda las siguientes cuestiones

- Escriba tres razones por las que después de todo lo expuesto considere importante el uso del lenguaje gráfico en el estudio de las situaciones cotidianas.

_____

_____

_____

- Qué ventajas considera interpretar el movimiento a un lenguaje basado en las gráficas.

- En 1623, Galileo Galilei escribió en su obra "El Ensayador" lo siguiente: *"La filosofía (la física) está escrita en este grandísimo libro que continuamente tenemos abierto ante los ojos (el universo, digo yo) pero que no se puede comprender si primero no se aprende a entender la lengua y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, medios sin los cuales es imposible entender humanamente una palabra, sin los cuales se dan vueltas vanamente por un oscuro laberinto".*
  Escriba qué relación puede haber en esta forma de pensar galileana y el lenguaje de las gráficas

Observación: Para las próximas dos sesiones, deberá traer regla, lápiz y papel milimetrado.

Guía de Sesión No. 6 - 7: Representación del movimiento uniforme

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivo: representar el movimiento uniforme en gráficas posición-tiempo velocidad-tiempo

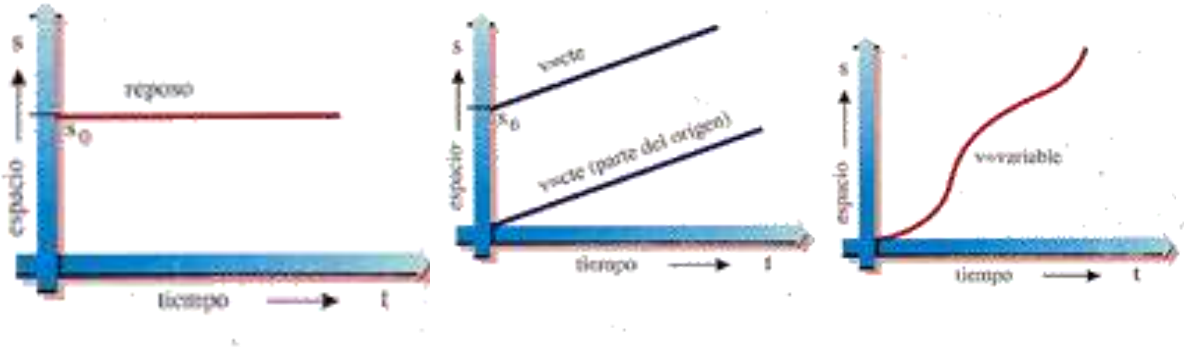
Conceptos previos: plano cartesiano, interpretación de una gráfica, posición y velocidad

Materiales: Guía de Sesión No.6 -7, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado
.

Marco Teórico
La representación gráfica de un movimiento y de sus características permite extraer una información valiosa sobre dicho movimiento.

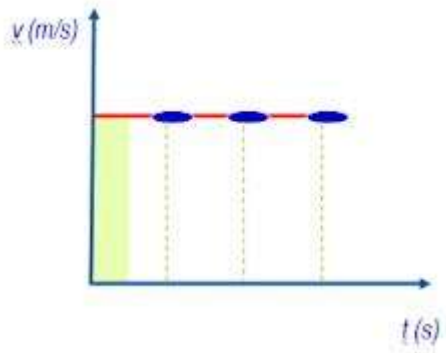
Las gráficas en las que se refleja la variación de diferentes magnitudes con respecto al tiempo son gráficas en las que se involucra la variable TIEMPO y por sí mismas proporcionan una buena descripción de las características del movimiento considerado. En todas ellas el tiempo t se representa en el eje horizontal o de abscisas y la magnitud cinemática (INICIAMOS CON LA POSICIÓN) en el eje vertical o de ordenadas. Tales tienen en el origen el punto que representa el cero del eje de coordenadas como lo representa la figura

En este sentido podemos interpretar las siguientes situaciones



Las gráficas posición - tiempo representan la variación del espacio medido sobre la trayectoria con respecto al tiempo. Las rectilíneas y oblicuas representan velocidad constante y las curvilíneas corresponden a velocidad variable (esta última se verá después).

En cuanto a la gráfica velocidad – tiempo, el movimiento uniforme es representado por una línea horizontal (dado que la velocidad no cambia). Galileo interpretó que el área bajo esta gráfica representa la distancia recorrida por el cuerpo considerado.



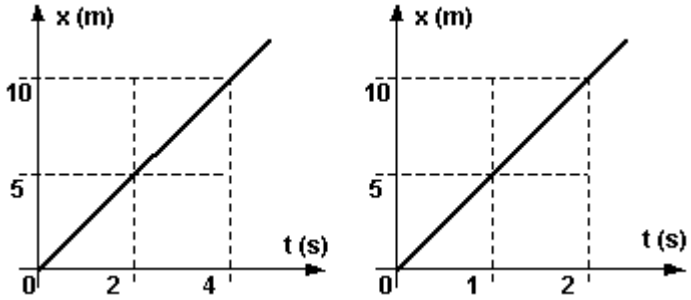
Adicionalmente, en la graficación debemos tener presente las siguientes observaciones:

- ✓ Los ejes deben estar bien graduados cuidando que las divisiones en cada uno de ellos sean iguales
- ✓ Tener cuidado de no invertir las coordenadas de los puntos representados. Recordar que la primera representa la abscisa EN EL EJE X y la segunda representa la ordenada EN EL EJE Y.
- ✓ Rotular debidamente cada uno de los ejes, recordando que una gráfica sin ejes sin rotular no tiene sentido dentro de la física. considerado.

Procedimiento:

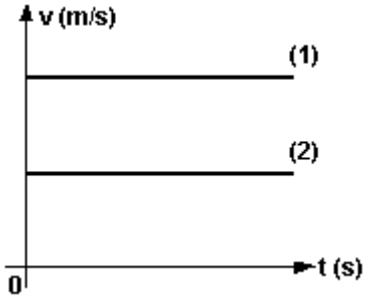
Las siguientes gráficas corresponden a situaciones relacionadas con el movimiento uniforme. Tener en cuenta todas las indicaciones dadas en la presente Guía de Sesión para la correcta elaboración de las gráficas (consultar al profesor en caso de dudas). Son dos sesiones de trabajo así que las situaciones que queden pendientes se continuarán trabajando en la siguiente sesión.

1- Reproducir en papel milimetrado las siguientes gráficas.



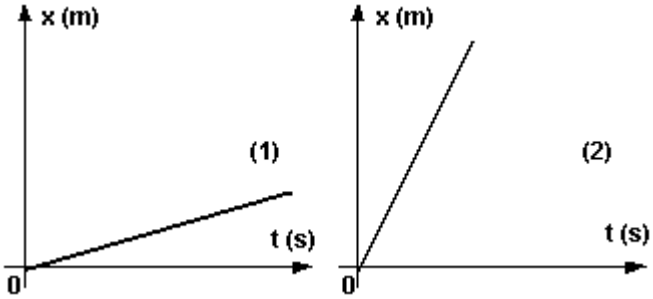
Dos cuerpos diferentes se mueven de acuerdo a las anteriores gráficas. Calcular en cada una de ellas la velocidad de cada cuerpo y la distancia recorrida.

2- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



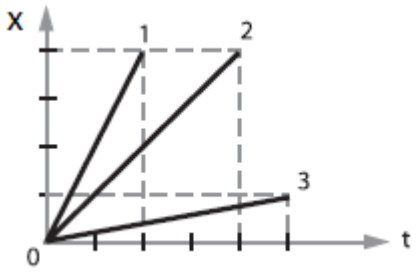
Dos cuerpos (1) y (2) se mueven de acuerdo con lo anterior ¿Cuál de los dos cuerpos anteriores lleva mayor velocidad? Explicar porqué.

3- Reproducir en papel milimetrado las siguientes gráficas.



Dos cuerpos (1) y (2) se mueven de acuerdo con lo anterior ¿Cuál de los dos cuerpos anteriores lleva mayor velocidad? Explicar porqué.

4- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.

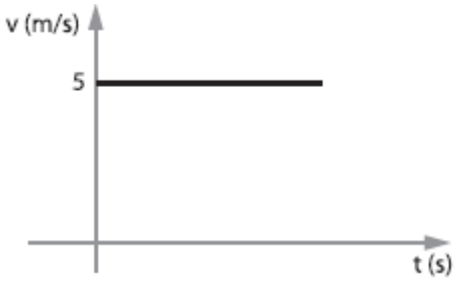


La posición x de tres partículas 1, 2 y 3 en función del tiempo, son mostradas en la gráfica. Calcular sus velocidades así como las distancias recorridas en cada una.

5- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.

Con base, en la anterior gráfica generar hacer la gráfica velocidad-tiempo para este movimiento.

6- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica que representa a un móvil se desplaza con movimiento uniforme. Calcular la distancia recorrida al cabo de 22 segundos.



7- Construir una grafica posición x vs tiempo t que cumpla las siguientes condiciones. Un cuerpo está en reposo por 5 segundos. Después se pone en movimiento con movimiento uniforme hasta llegar a una posición de 12 metros. Después se queda allí por 7 segundos y finalmente avanza por 4 segundos a una velocidad de 3 m/s. Calcular de la gráfica, la distancia recorrida y la velocidad que adquirió en el primer instante. .

Guía de Sesión No. 8: El movimiento acelerado uniforme.

Tiempo estimado: 60 minutos

Objetivo: indagar sobre el concepto del movimiento acelerado.
Conceptos previos: movimiento uniforme, velocidad.
Materiales: videobeam o monitor gigante, computador, Guía de sesión No. 8, cuaderno de los estudiantes.

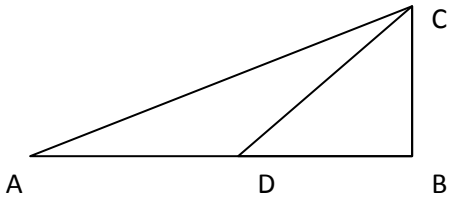
Marco Teórico:
TOMADO DE DISCURSOS Y DEMOSTRACIONES SOBRE DOS NUEVAS CIENCIAS

SAGR: … Por el momento, recogiendo el hilo de nuestra conversación, me parece que, hasta el presente, lo que hemos hecho es establecer la definición del movimiento uniformemente acelerado, del que trataremos en lo que a continuación sigue. Tal definición es:

Llamamos movimiento uniformemente acelerado aquel que, partiendo del reposo, va adquiriendo incrementos iguales de velocidad durante tiempos iguales.

SALV.: Una vez establecida tal definición, el autor supone y postula como verdadero un solo principio, que es el siguiente:

Doy por supuesto que los grados de velocidad alcanzados por un mismo móvil, en planos diversamente inclinados, son iguales cuando las alturas de los mismos planos son también iguales.



Llamemos altura de un plano inclinado a la perpendicular que cae desde la parte superior de dicho plano sobre la línea horizontal, trazada por la parte inferior del mismo plano inclinado. A modo de ilustración, sea la línea AB la horizontal, sobre la cual caen los dos planos inclinados CA y CD. A la perpendicular CB, que cae sobre la horizontal BA el autor la denomina altura de los planos CA y CD. Supone él que los grados de velocidad de uno y el mismo móvil, que descienda por los planos inclinados CA y CD, serán iguales si los comparamos en los puntos finales A y D, al ser la altura de ambos planos la misma; esto es, CB. Lo mismo ha de entenderse con respecto al grado de velocidad que alcanzaría el mismo móvil en el punto B si cayese desde C.

SAGR.: La verdad es que esta suposición me parece tan plausible que es digna de que se la acepte sin ninguna objeción, siempre y cuando supongamos también que queden fuera de consideración las resistencias externas posibles y que los planos sean lo suficientemente sólidos y tersos, así como que el móvil posea una figura absolutamente redonda, de modo que ni el móvil ni el plano tengan la menor aspereza. Si dejamos de lado todas estas resistencias y dificultades, mi razón me dice, con toda naturalidad, que una bola pesada y absolutamente redonda, que descendiera por las líneas CA, CD y CB alcanzaría los puntos terminales A, D y C con impulsos iguales.

Por tanto, desde iguales alturas llegarán a la misma velocidad

Una cosa es la velocidad y otra EL CAMBIO DE DICHA VELOCIDAD A eso llamamos ACELERACIÓN.

Procedimiento:

1- Preste mucha atención a la exposición de su profesor sobre el movimiento acelerado uniforme. El texto de la presentación y de esta Guía de Sesión es el mismo con el fin de que usted pueda hacer seguimiento y pueda aclarar cuál es la diferencia entre velocidad y aceleración (entendida esta última como cambio de velocidad). Entregue nuevamente a su profesor está Guía de sesión al finalizar la misma.

Observación: Para las próximas dos sesiones nuevamente deberá traer regla, lápiz y papel milimetrado

Guía de Sesión No. 9 - 10: Representación del movimiento acelerado

Tiempo estimado: 240 minutos (2 Sesiones)

Objetivo:

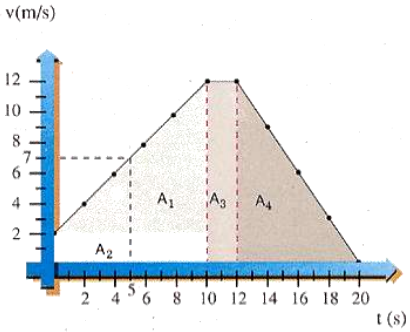
1. Representar el movimiento acelerado uniforme en gráficas velocidad-tiempo.
2. Interpretar adecuadamente las gráficas en situaciones cinemáticas
3. Usar el Teorema 2 para hallar las distancias en un movimiento acelerado uniforme

Conceptos previos: movimiento acelerado, movimiento uniforme, interpretación de gráficas.

Materiales: Guía de Sesión No.9 -10, calculadora, regla, lápiz y papel milimetrado
.

Marco Teórico:

Al igual que en las gráficas de posición-tiempo la interpretación de una gráfica velocidad-tiempo para un movimiento acelerado indica una serie de cosas en su interpretación. La pendiente de este tipo de gráficas indica medida del ritmo de variación de la velocidad con respecto al tiempo; a esto último es lo que llamamos ACELERACIÓN de acuerdo a la definición de Galileo.



.Las rectas paralelas al eje representan velocidad constante, las oblicuas una aceleración constante y las curvilíneas una aceleración variable (Estas últimas no las trabajaremos aquí).

Así una gráfica velocidad-tiempo rectilínea y paralela al eje del tiempo representa un movimiento de velocidad constante. Es decir, que la pendiente de la recta correspondiente sea nula indica que la aceleración es cero. Si se tratara de un cuerpo en reposo (velocidad nula), entonces la gráfica velocidad-tiempo se confundiría con el propio eje horizontal. Si la gráfica es una recta ascendente, y por tanto de pendiente constante y positiva, se tratará de un movimiento de aceleración constante y positiva.

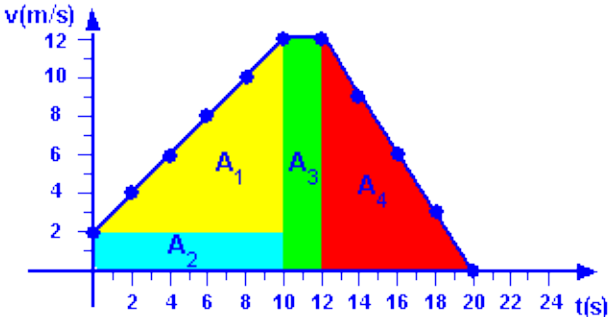
Si por el contrario la recta es descendente, es decir, de pendiente negativa, el movimiento será decelerado o retardado. Una gráfica velocidad-tiempo curvilínea o de pendiente variable representará un movimiento de aceleración variable.

Al igual que en el movimiento uniforme, el área en una gráfica velocidad-tiempo. Para encontrar la dependencia entre el tiempo y la distancia en un movimiento acelerado uniforme usaremos el siguiente teorema establecido por Galileo

TEOREMA 2: El tiempo, en que un móvil recorre un espacio con movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, es igual al tiempo en que el mismo móvil recorrería ese mismo espacio con movimiento uniforme, cuya velocidad es el promedio de la mayor y última velocidad del movimiento. (Sin demostración)

Veamos una ejemplificación de este teorema

t(s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
v(m/s)	2	4	6	8	10	12	12	9	6	3	0



Viene dado por el área comprendida entre la gráfica y el eje de abcisas.

$A_1 = \frac{10s \times 10\ m/s}{2} = 50\ m$

$A_2 = 10\ s \times 2\ m/s = 20\ m$

$A_3 = 2\ s \times 12 m/s = 24\ m$

$A_4 = \frac{8s \times 12\ m/s}{2} = 48\ m$

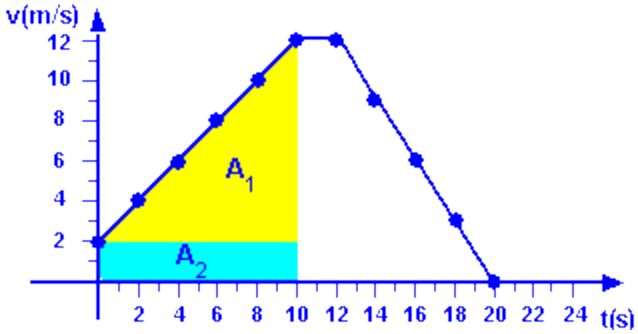
$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 =$
$= 142\ m$

El espacio total recorrido por el móvil es, pues

S = 142 M

Y a su vez el cálculo de la velocidad media por

t(s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
v(m/s)	2	4	6	8	10	12	12	9	6	3	0



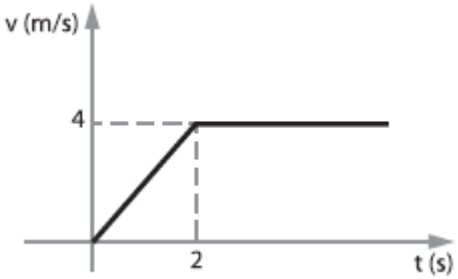
Ahora, el espacio recorrido en estos 10 primeros segundos coincide con la suma parcial $A_1 + A_2$ y, por tanto

$Vm = \frac{70}{10} = 7{,}0\ m/s$

Procedimiento:

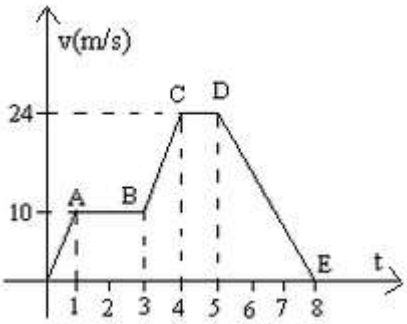
Las siguientes gráficas corresponden a situaciones relacionadas con el movimiento uniformemente acelerado. Tener en cuenta todas las indicaciones dadas en la presente Guía de Sesión para la elaboración de las gráficas (consultar al profesor en caso de dudas). Son dos sesiones de trabajo así que las situaciones que queden pendientes se continuarán trabajando en la siguiente sesión.

1- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Una partícula parte del reposo con movimiento acelerado uniforme. Cuando el tiempo es de 2 segundos, su velocidad es de 4 m/s manteniéndola constante. Calcular la distancia recorrida por el móvil hasta los 6 segundos.

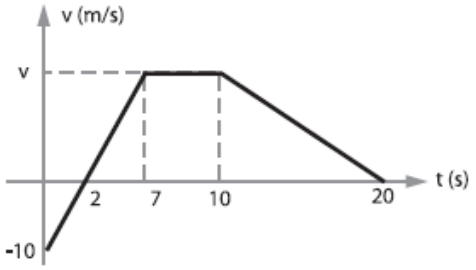
2- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Un móvil describe un movimiento rectilíneo. En la figura, se representa su velocidad en función del tiempo. Sabiendo que en el instante t=0, parte del origen x=0.

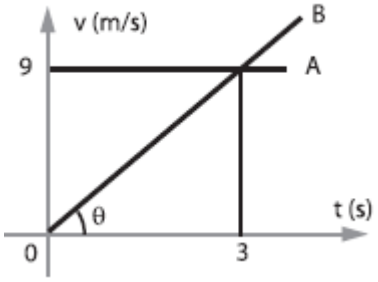
- Calcular el desplazamiento total del móvil, hasta los 8 segundos.
- Escribir la expresión de la posición x del móvil en función del tiempo, en los tramos AB y BC (Movimiento uniforme)

3- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



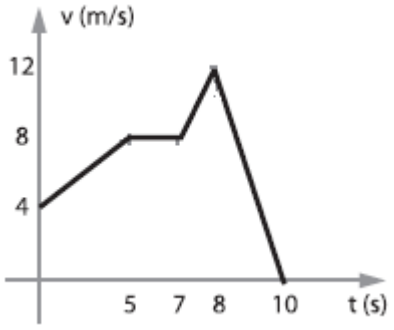
Un móvil en t = 0 está en Xo = - 50 m. Hallar la posición en t = 15 s.

4- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



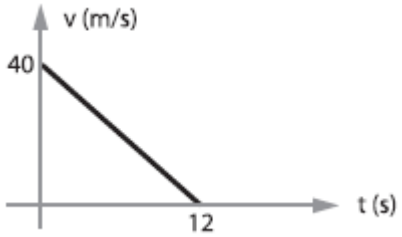
¿Qué tiempo tarda el móvil B para alcanzar al móvil A?

5- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica.



Determinar la distancia recorrida hasta los 10 segundos.

6- Reproducir en papel milimetrado la siguiente gráfica



La cual representa a un auto que viaja a 40 m/s y frena, desacelerando uniformemente. Hallar la distancia recorrida entre los 7 y 10 segundos.

7- Construir una grafica posición x vs tiempo t y una velocidad v vs tiempo t que cumpla las siguientes condiciones. Un cuerpo se mueve uniformemente por 5 segundos a una velocidad de 10 m/s. Después acelera hasta llegar a una velocidad de 12 m/s después de otros cinco segundos y conserva esa velocidad por 5 segundos más después de lo cual empieza a desacelerar hasta llegar al reposo en 10 segundos. Calcular de la gráfica, la distancia recorrida y la velocidad que adquirió en el primer instante. .

8- Describa de acuerdo a los ejercicios y a la presentación de la sesión 8 la diferencia entre velocidad y aceleración

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Anexo E: Experiencia en el Colegio I.E.D Colombia Viva – GRADO 1002.

Anexo F: Complemento material multimedia. CD- ROM.