UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Implicaciones de la visión discreta y continua en el aprendizaje del concepto de velocidad

Lic. Juan Camilo Grajales Arboleda

Universidad Nacional de Colombia

Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Facultad de Ciencias

Sede Medellín

2013

Implicaciones de la visión discreta y continua en el aprendizaje del concepto de velocidad

Lic. Juan Camilo Grajales Arboleda

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

Magister en enseñanza de las ciencias exactas y naturales

Directora:

: Luz Stella Mejía Aristizábal

Doctora en Educación

Universidad Nacional de Colombia

Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Facultad de Ciencias

Sede Medellín

2013

Ningún científico piensa con fórmulas.
Antes de que el físico comience a calcular debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos.
Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos con palabras sencillas.
Los cálculos y fórmulas vienen después

Albert Einstein

Agradecimientos

En primer lugar a la asesora de esta propuesta, Dra. En Educación de la Universidad de Antioquia Luz Stella Mejía por confiar en este trabajo, por su orientación e invitación a compartirlo con la comunidad académica. Al evaluador, Mgtr. en enseñanza de las ciencias Yirsen Aguilar Mosquera por sus apuntes acertados alrededor de la didáctica y del enfoque epistemológico del cual ambos estamos convencidos.

Resumen

¿Cuál es el estado en el que se encuentra la perspectiva epistemológica del aprendizaje cómo cambio conceptual? ¿Cuáles son las posibilidades que otros modelos de aprendizaje más trabajados, como el aprendizaje significativo, han dejado al cambio conceptual desde una perspectiva evolucionista? ¿Hasta qué punto las críticas pueden ampliar sus perspectivas y ser aprovechadas dentro de la enseñanza de la física? Son cuestiones que orientaron el presente estudio y que se encuentran tras la indagación por la influencia de la visión continuista o discreta del tiempo y del espacio, en algunos estudiantes del último ciclo de secundaria, aplicados al concepto de velocidad.

Corrientemente los estudios sobre continuidad, concepción de infinito y de velocidad media o instantánea en la educación secundaria, han sido estudiados por separado. Desde un punto de vista descriptivo e interpretativo, cada uno ha aportado al modo como los aprendices aplican dichas concepciones en un ámbito geométrico o físico, teniendo éstos numerosos ligamentos que permiten hablar de los conceptos físicos no como construcciones enteramente cuantitativas pero tampoco desde la mera interpretación cualitativa. Una visión integradora es posible y necesaria, al tiempo que se trasciende la visión del cambio con énfasis en lo conceptual y se advierte sobre la necesidad de considerar el cambio además desde lo metodológico.

Dentro de este estudio de caso, se buscó aprovechar el ciclo didáctico como estrategia de intervención para indagar y comprender los rasgos que permiten o impiden una evolución conceptual de los participantes, así como las dinámicas de grupo en la configuración de la ecología intelectual colectiva. Las estrategias para recoger la información fueron los cuestionarios de indagación, las actividades experimentales con asistente virtual y la entrevista focal. Para el análisis de la

información se utilizó la categorización y triangulación de la información.

Palabras clave: Educación secundaria, cambio conceptual, ciclo didáctico, velocidad media.

Abstract

What is the state in which is found the epistemological perspective of learning as a conceptual change? Which are the possibilities that other learning models such as meaningful learning have left the conceptual change from an evolutionist perspective?
Until what extent conceptual change criticism can broaden their perspectives and be exploited in the teaching of physics? These are questions that guided the present study and were found after inquiring the influence of the continuist and discrete vision of time and space, applied to the concept of speed with some students in the last cycle of secondary education.
Currently studies about continuity, infinite concept and average or instant speed in secondary education have been studied separately. From a descriptive point of view and interpretation, each has contributed to the way how learners apply these concepts in a geometric or physical scope; taking these numerous ligaments that allow discuss physical concepts as constructions not entirely quantitative but not from merely qualitative interpretation. An inclusive vision is possible and necessary, while the perspective of change transcends emphasizing the conceptual and it also warns of the need to consider further change also from the methodology.
In this case study, we sought to take advantage of the training cycle as an strategic intervention to investigate and understand the characteristics that allow or prevent a conceptual evolution of the participants, as well as the group dynamics in shaping collective intellectual ecology. The Strategies used for collecting the information were questionnaires of inquiry, experimental activities with virtual assistant and focal interviews. For analyzing the information, the categorization and triangulation of the information was used.

Keywords: Secondary education, conceptual change, educational cycle, average speed

Contenido

Pág.

Resumen ..... ¡Error! Marcador no definido.

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

Lista de tablas ..... **XIV**

Introducción ..... ¡Error! Marcador no definido.

1. Capítulo 1 ..... **7**
1.1 Exigencias disciplinares 7
1.1.1 El concepto de movimiento 7
1.1.2 La geometría de Oresme 8
1.1.3 La noción de movimiento de los escolásticos 10
1.1.4 Galileo y la geometría del movimiento 12
1.1.5 Formulación diferencial vs integral ..... 1**¡Error! Marcador no definido.**
1.2 Perspectiva didáctica 18
1.2.1 El cambio conceptual desde la perspectiva evolucionista 21

2. Capítulo 2 ..... **23**
2.1 Diseño de la investigación 23
2.1.1 Temas y categorías 23
2.2 Metodología de intervención 26
2.3 Ajustes y coincidencias con la pedagogía Waldorf 29
2.4 Fases de la intervención 30
2.4.1 Perfil motivacional de los estudiantes 31
2.4.2 Situación problema 34

3. Capítulo 3 ..... **39**
3.1 Resultados de la prueba sobre perfil motivacional: descripción del caso3**¡Error! Marcador no**
3.2 Resultados de la prueba de modelos explicativos 42
3.3 Resultados de la práctica con planos inclinados y V de Gowin: observación, descripción y análisis 47
3.4 Resultados de la práctica con un asistente virtual: Tracker® 50

4. Capítulo 4 57
4.1 Análisis de la categoría disciplinar.....57
4.2 Análisis de la categoría sociocultural.....61
4.3 Análisis de la categoría epistemológica.....62

5. Conclusiones y recomendaciones 67
5.1 Conclusiones.....67
5.2 Recomendaciones.....68

A. Anexo: Perfil motivacional 69

B. Anexo: Concpeciones alternativas.....71

C. Anexo: Guía de laboratorio 75

D. Anexo: Guía de entrevista.....78

Bibliografía.....81

Lista de figuras

Pág.

Figura 1: Movimiento de traslación y rotación. .....**¡Error! Marcador no definido.**1
Figura 2: Teorema II del Discursi de Galileo en Azcárate. ..... **¡Error! Marcador no definido.**4
Figura 3: Lanzamiento horizontal de una partícula desde un plano inclinado. **¡Error! Marcador no definido.**7
Figura 4: Conexiones del aprendizaje en la aplicación de los ciclos didácticos..... 28
Figura 5: Los cuatro temperamentos 33
Figura 6: El ciclo didáctico 38
Figura 7: Solución dada a la paradoja de Aquiles y la tortuga por un estudiante .. 43
Figura 8: Solución dada por Lisa a la pregunta 3..... 44
Figura 9: Soluciones dadas por Caro a la pregunta 3 44
Figura 10: Ejemplo de V heurística aplicada al tema de vectores 48
Figura 11: V heurística en la práctica de planos inclinados..... 49
Figura 12: Gráfica de x vs t. Cuaderno de Lisa 49
Figura 13: V heurística hecha por Lina en la práctica de planos inclinados 50
Figura 14: Interfaz de Tracker® 51
Figura 15: Práctica de vaciado de tanques con Tracker® por el equipo de Vale 52
Figura 16: Lanzamiento de un balín en Tracker® por el equipo de Vale 52
Figura 17: Gráfica de v_y en Tracker® por el equipo de Leo 53
Figura 18: Tabla de valores de la aceleración vertical recuperada de Tracker® por el equipo de Caro 54
Figura 19: Evolución conceptual y metodológica de los participantes en los ejes argumentativo, recurrencia de modelos explicativos y representacional. Se comparan dos momentos: cuestionario de concepciones alternativas (I) y entrevista grupal (II)..... 65

Lista de tablas

Pág.
Tabla 1: Definición operacional de velocidad instantánea y media. . **¡Error! Marcador no definido.**6
Tabla 2: Temasy categorías de análisis..... **¡Error! Marcador no definido.**5
Tabla 3: Matriz de habilidades de los informantes. 41
Tabla 4: Respuestas al taller de conceptos previos .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5: Velocidad media e instantánea según el taller de conceptos previos. . **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6: Subcategorías examinadas en los participantes por cada instrumento del ciclo64

Introducción

Frecuentemente el estudio de la física se ve desligado de otras áreas del conocimiento especialmente de las humanidades, aduciendo quienes se dedican a esta labor, diferencias de método irreconciliables, mientras que la física conserva unos principios de verificación que la atan al experimento, las humanidades recurren a lineamientos mucho más subjetivos y particulares. Sin embargo, se sabe que la física y las ciencias en general, deben valerse de conceptos los cuales están dotados necesariamente de un cuerpo dual compuesto de signo (operativo) y simbólico (cualitativo). Es así que en la búsqueda por definir cualquier magnitud o fenómeno se enfrenta a una parte puramente subjetiva que está íntimamente ligada al paradigma desde el cual se ubique.

Desde un análisis histórico-epistemológico se ha visto una tensión entre dos corrientes opuestas para explicarse uno u otro fenómeno, estas han servido de marco a dichas construcciones constituyéndose en paradigmas presentes en diversos problemas de la física, se refiere a la controversia entre lo *continuo y lo discreto*. Estas dos concepciones que implican un problema matemático pero que lo trasciende, ha atravesado temas tan cruciales como la composición del universo hasta el concepto de tiempo y es inspirador de la física de partículas.

Uno de los debates más interesantes incluso desde Aristóteles hasta Galileo, ha sido definir el movimiento lo que llevó finalmente al concepto de velocidad, pero, ¿qué se entiende por velocidad? ¿Es la velocidad un concepto puramente operativo o implica tomar partido entre lo discreto y lo continuo? Entender el concepto de velocidad no es una cosa trivial ya que es condición necesaria para otros conceptos como por supuesto, aceleración pero también la energía cinética sin contar con el hecho de que históricamente el problema de la velocidad instantánea fue la causa del origen del cálculo infinitesimal.

En nuestro contexto se requiere de un esfuerzo centrado en las posibilidades didácticas de la enseñanza que contemple bajo una mirada epistemológica, los problemas no solo del aprendizaje, sino además aquellos relacionados con la aparición del concepto sin hacer transposiciones de los obstáculos epistemológicos a los problemas de aprendizaje, pero que considere pertinente abarcar otras características del concepto aún no vistas y que pueden servir de objetos interdisciplinarios[1].

En la práctica con estudiantes se ha identificado la dificultad para interpretar los cambios de velocidad respecto al tiempo, especialmente en problemas relacionados con la cinemática. Los jóvenes frecuentemente asocian velocidad cero con ausencia de movimiento, lo que en el contexto del movimiento parabólico y movimiento armónico simple tiene consecuencias desfavorables al calcular otras magnitudes físicas. A pesar de que el carácter previo de los estudiantes sobre la continuidad del tiempo y del espacio, determina la comprensión de otros campos de la física como la termodinámica o el electromagnetismo, nos centraremos únicamente en el estudio del movimiento. La razón principal por la cual se quiere hacer énfasis en el dilema del continuo, responde a las dificultades para hacer extrapolaciones y utilizar métodos inductivos en la solución de algunas paradojas relacionadas con la recta real y el

[1] MEN “Estándares básicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales” Pág. 15.

movimiento de proyectiles, visible tanto en los cursos de cálculo como de física.

El enfoque epistemológico ofrece una ventaja, impulsada desde los estándares básicos de competencias[2] que consiste precisamente en incluir lo común a ambas ciencias; las sociales y las naturales. Se trata justamente de la concepción del conocimiento no como un conjunto de datos sino como algo vivo que depende directamente de la cultura, sin embargo, en la práctica docente esto se ha ignorado o subvalorado en el mejor de los casos. La construcción del conocimiento científico como una actividad de la cultura, impide en cualquier caso analizar nuestros problemas de enseñanza atendiendo exclusivamente a la distancia entre los conceptos científicamente aceptados y los utilizados por el aprendiz, sino además requiere de una descripción de las representaciones y los cambios radicales o graduales que se pudieran dar con o sin instrucción e individual y socialmente.

La tensión entre la visión continuista y la discreta, constituye una hipótesis que abarca diversas representaciones en las ciencias en general y proporciona un verdadero problema de aprendizaje integrador por su carácter histórico y epistemológico en los estudiantes quienes al igual que en la historia de la ciencia, toman partido guiados por un sentido lógico y a su vez *viciado* por un componente idiosincrásico.

Bajo esta premisa se hará una propuesta didáctica a partir de la identificación de la concepción de los estudiantes al enfrentarse al concepto de velocidad, será allí donde se vislumbre mejor la posición de cada uno frente al problema de lo *discreto y lo continuo* y contribuirá al entendimiento de otros conceptos como el de energía cinética. De ahí que se plantee como objetivo central, diseñar y aplicar una propuesta didáctica que posibilite relaciones entre la visión continuista o discreta analizadas sobre un grupo de estudiantes de grado décimo del Colegio

[2] Ibíd. Pág. 15

Waldorf Isolda Echavarría del municipio de La Estrella y específicamente en las implicaciones que dicha visión presenta frente al concepto de velocidad instantánea aplicados.

Para lograr dicho objetivo se pretende rastrear aquellas exigencias actuales de la física alrededor de la continuidad o discontinuidad del espacio y el tiempo, así como sus orígenes y posteriores transformaciones. Puntualmente se puede desglosar el objetivo general en los siguientes objetivos específicos:

- Identificar en los estudiantes el dominio de la visión discreta o continua (o de ambas), en situaciones concretas apoyados en fenómenos históricamente *detonantes* del concepto de velocidad instantánea

- Elaborar y aplicar experiencias con objetos reales y/o virtuales que no solo enfrenten a los estudiantes con las anomalías de sus concepciones alrededor del concepto de velocidad instantánea sino que estos puedan ampliarlas incorporando los códigos explícitos de las ciencias naturales

- Incorporar en los instrumentos de intervención pedagógica, procesos que impliquen reflexión y habilidades propositivas de los estudiantes, basados en el campo de la CTS (Ciencia – Tecnología – Sociedad)

Dado que el problema del aprendizaje para cada individuo depende de un gran número de factores sean estos sicosociales, de motivación, de acceso a la educación pública y por supuesto didácticos; en el presente trabajo nos enfocaremos en una propuesta de enseñanza que comprenda la dimensión epistemológica con el fin de aportar al componente didáctico, todo esto enmarcado en la hipótesis mencionada antes; la cual considera que el aprendizaje de ciertos conceptos en física que van desde la percepción del cambio como puede ser la noción de velocidad instantánea, hasta la composición última de la materia como sucede con las ideas de calor o carga eléctrica, etc.,

dependen o se encuentran implicados por la cosmovisión del aprendiz entre la disyunción continuista - discreta.

Dicha propuesta estará enmarcada en las revisiones que se han hecho a la teoría de cambio conceptual de Juan Ignacio Pozo y otros desde una perspectiva *evolucionista* o gradual. Esto implica en primer lugar, hacer un rastreo a nivel disciplinar de las exigencias que específicamente el concepto de velocidad instantánea, por centrarnos en uno, demandó el concepto a medida que en la historia de la física y hasta la actualidad superando cada obstáculo epistemológico.

Seguidamente se indaga acerca de las concepciones de movimiento de un grupo de estudiantes de 10º del Colegio Waldorf Isolda Echavarría en el municipio de La Estrella, a través de un instrumento de diagnóstico para finalmente realizar una intervención que cobije los procesos históricos que dieron origen al concepto de velocidad instantánea desde el estudio de las paradojas de movimiento junto con algunas descripciones geométricas del problema de la continuidad del tiempo y del espacio. Se aclara que el alcance de esta propuesta no pretende verificar si los estudiantes experimentaron un cambio radical o gradual del concepto de velocidad instantánea.

1. Capítulo

Marco teórico

1.1 Exigencias disciplinares

A continuación se hará un rastreo sobre todos aquellos factores que han diferenciado los conceptos de espacio y tiempo desde la antigüedad hasta la época moderna. Dichos elementos serán el punto de partida en la definición de las categorías de las cuales darán cuenta directamente los instrumentos que componen las unidades didácticas.

1.1.1 El concepto de movimiento

Desde Aristóteles, el estudio de la naturaleza solo podía abordarse en términos del análisis de cambios, es así que el estudio del movimiento era crucial para cualquiera que se quisiera llamar filósofo natural, al considerarse como una manifestación del cambio. Sin embargo, existía en la filosofía aristotélica como en toda la filosofía griega una fuerte inclinación por los opuestos; frio – caliente o bueno – malo, todas estas son como puede verse, cualidades que no admiten divisiones o términos medios (Martínez R., 2002), desde aquí la concepción discreta del mundo cobra su real importancia, especialmente si nos preguntamos por el carácter de la velocidad, magnitud física que describe el movimiento por excelencia.

Debemos preguntarnos primero por el tipo de variable a la que pertenece la velocidad. Si se trata de una variable cualitativa, no nos queda más que oponer al

movimiento el reposo y abandonar la idea de un infinito actual como lo planteara Hilbert (Salazar L., 2011, pág. 4). La idea de la velocidad desde una perspectiva sistémica es retomada por Romero A. (2003) con base en los aportes del mismo Galileo, es a partir de éste que se establece una correspondencia entre los infinitos instantes y los diferentes estados de movimiento o velocidades del cuerpo, sea que se esté moviendo con velocidad constante o variada, el concepto de velocidad como variable de estado implica tomar postura en relación al continuo y en consecuencia se llega al concepto de reposo como uno de los estados de movimiento, esto es, adquiere un valor determinado, incluso el valor cero lo que no significa que la variable carezca de significado.

1.1.2 La geometría de Oresme

Como sabemos, el desarrollo de la física no sería el mismo sin el aporte de las matemáticas, pero no se reduce a esta. Desde Galileo hasta nuestros días, la introducción de cualquier concepto físico implica un conjunto de representaciones y terminologías que abarcan una nueva semántica. En el caso de la velocidad y mucho antes que Galileo, el francés Nicolás Oresme en siglo XIV, empleó una relación geométrica en la que estableció una correspondencia entre los diferentes valores de tiempo y espacio a través de lo que se conocen como las *latitudes* que serían las diferencias cualitativas o las distancias reales (Martínez, J. R., 1997).

Históricamente Oresme es más conocido por la deducción del teorema de velocidad media que por su análisis hacia la solución del problema del infinito, no obstante, ambas conceptualizaciones se relacionan a partir de la representación geométrica de las magnitudes físicas de espacio y tiempo.

El uso de las matemáticas para cuantificar magnitudes tradicionalmente cualitativas, se facilitó gracias a la traducción al latín de los *Elementos* de Euclides por Boecio, específicamente lo relacionado con la teoría de proporciones

(Martínez, 2002). Entre los hombres de ciencia, Oresme fue quien más se destacó por interpretar el concepto de velocidad con un tipo de proporcionalidad geométrica y para resolver el problema en la que se asimilaba dicha proporción, esto es, como igualdades entre dos pares de cantidades del *mismo tipo*, partió asociando las cantidades continuas con las magnitudes físicas, en particular, la velocidad como escribe Clagett (Martínez, 1997) en su obra *Tractatus de configurationibus qualitatum et motum*:

> Toda cosa medible, excepto los números, se puede imaginar a la manera de una cantidad continua. Por tanto, para la medición de dicha cosa, es necesario que puntos, líneas y superficies, o sus propiedades, sean imaginadas. Porque en ellas, (las cantidades geométricas), como lo dice el filósofo, se encuentra el principio de la medida o proporción […], y si bien puntos o líneas indivisibles no existen, es necesario simularlos matemáticamente, para la medida de las cosas y el entendimiento de sus proporciones (p. 165).

Vemos como el continuo geométrico surge como una hipótesis que incluso otras escuelas de la edad media y aún más tarde, mantuvieron para responder al problema de la velocidad instantánea de un móvil en un lapso de tiempo igualmente continuo. Sin embargo estos planteamientos matemáticos no dieron lugar a mediciones de manera directa, solo hasta Galileo, este sería un progreso en el desarrollo de la cinemática.

1.1.3 La noción de movimiento de los escolásticos

Durante la edad media la influencia de la teoría aristotélica en la ciencia natural, no era el único marco de referencia en lo que a la teoría del cambio se refiere. Incluso el mismo Buridan, quien fuera uno de los aristotélicos más destacados, con su concepto de *impetus* determina la posibilidad de hablar en términos cuantitativos del movimiento al definirlo como: *el producto de la celeritas y la cantidad de materia solo para el caso en que el cuerpo fuera pesado* (Martínez, J. 2002, pág. 218). El problema que ocupó a los hombres de ciencia y dados los escasos avances en cuanto al desarrollo algebraico de la época, se enfocó en establecer un sistema de principios que les permitiera definir el movimiento de los cuerpos así como su tipología a partir de la reflexión física y no de la lógica matemática (Jiménez G. y Jiménez R., 2012).

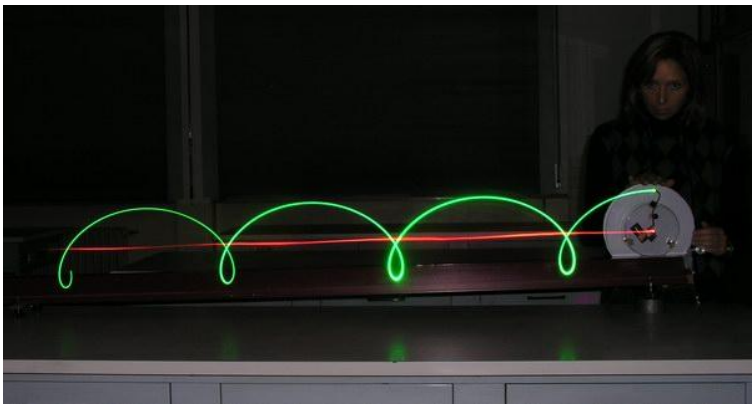
En ningún caso este aspecto debe verse como una desventaja ya que los escolásticos asumían la definición de movimiento como algo que no se agota en la que tradicionalmente se imparte en nuestro sistema educativo, esto es, como la variación de la posición respecto a un sistema de referencia en un intervalo de tiempo. Sin embargo, dicha definición es insuficiente cuando se pregunta, por ejemplo, por la velocidad del pie derecho de una persona que avanza hacia otra, o la velocidad del extremo del dedo índice de su mano derecha (Jiménez G. y Jiménez R, 2012)

Ciertamente el concepto de movimiento que se ha venido enseñando en la enseñanza tradicional de la física, se basa en otro que simplifica las cosas y que fue propuesto por Euler (Jiménez G. y Jiménez R., pág. 54) mucho después de los escolásticos, se trata del concepto de *masa puntual.* Como vimos en el ejemplo anterior, no siempre es posible “capturar” el movimiento y más específicamente la velocidad de un elemento recurriendo a lo que llamamos masa puntual. Los escolásticos con todo rigor, establecen algunos postulados sobre

movimiento de los cuales según Pierre Duhem quien es citado por Jiménez G. y Jiménez R. (2012), puede decirse que son escritos que pertenecen al siglo XIII. Desde el primer postulado, se ve la necesidad de referirse a sistemas de referencia. Se transcribe a continuación, la interpretación que estos autores, hacen de este postulado:

> Primer postulado: *Quae magis removentur a centro, magis moventur, et quae minus, minus.* "Lo que más se mueve respecto al centro, más se mueve, y lo que menos, menos". Este postulado plantea la necesidad de fijar un centro de referencia para poder valorar el movimiento. Por tanto, establece una delimitación neta entre el movimiento y el observador, pero el sistema de referencia aún carece de la otra propiedad fundamental que es la orientación. En consecuencia, afirma que el cuerpo que más se mueve respecto del centro de referencia es el que más se mueve, y el que menos, menos se mueve, con independencia del observador (p. 55).

Figura 1: Movimiento de traslación y rotación



Dicho punto de referencia en ningún caso se asocia a lo que hoy conocemos como centro de masa aunque pertenece al mismo cuerpo. Al final de los postulados traducidos por Duhem, se puede concluir que para los escolásticos, solo a los cuerpos rígidos con movimientos rectilíneos uniformes, será posible asignarle un valor numérico de velocidad, de lo contrario, habría tantas velocidades como partes que se mueven de manera diferente.

Luego de los aportes hechos durante la edad media y con los antecedentes ya expuestos de Oresme, el trabajo de Galileo Galilei, contribuiría a estructurar lo que hasta entonces se conocía con el nombre de *Geometría del movimiento.*

1.1.4 Galileo y la geometría del movimiento

El desafío que en el siglo XVII enfrentaría Galileo, más allá de la penitencia que la Santa Inquisición le impuso por sus afirmaciones sobre el movimiento de los astros en 1633, giraba alrededor de la adopción de un sistema que le permitiera no solo descriptivamente sino experimentalmente, establecer una relación en la que quede definida la magnitud de velocidad como el atributo físico que por excelencia representa el movimiento de los cuerpos. Podría decirse que surge con Galileo la posibilidad de hablar del movimiento, sin ocuparse del principio físico o filosófico que hace que los cuerpos, por ejemplo, caigan naturalmente, y aún más como afirma Rossi Paolo, *en el juvenil De motu todavía aparecían los conceptos de pesadez de los cuerpos, de movimiento natural hacia abajo debido a la pesadez, de vis impressa entendida como una ligereza ocasional que prevalece sobre la gravedad natural*" (1997, pág. 106).

Dejando a un lado esta posición de Galileo, que además corrige más adelante en su obra, *Discursos y demostraciones matemáticas relativas a dos nuevas ciencias, la mecánica y el movimiento local*, se ilustra el modo como utilizó la teoría de proporciones haciendo aquí alusión a dos características fundamentales para el objetivo del presente trabajo. El primero, tiene que ver con la definición de movimiento uniforme, previa a la demostración de la ley cuadrática y que él describe *por movimiento igual o uniforme entiende aquél en el que los espacios recorridos por un móvil en tiempos iguales cualesquiera son iguales entre sí* (Azcárate Giménez C., 1984, pág. 204), pero lo curioso es la advertencia que sigue a la definición *donde señala la importancia del término cualesquiera ya que puede suceder que un móvil recorra espacios iguales en determinados tiempos iguales mientras que distancias recorridas en fracciones de tiempo más pequeñas*

pueden no ser iguales aunque lo sean dichos intervalos más pequeños. Aquí vemos el tipo de velocidad del cual se ocupa Galileo y es el de velocidad media. Se puede interpretar cómo el espacio aunque continuo para él, no posee las herramientas matemáticas necesarias más que para describir los cambios en virtud de la comparación entre dos puntos de la *trayectoria* del cuerpo, dejando a un lado el sentido de la velocidad instantánea, que a su vez impide el trazo de, por ejemplo, trayectorias curvilíneas.

El segundo aspecto resiste la ausencia del cálculo integral demostrando a través de algunas propiedades del movimiento uniforme junto con la teoría de proporciones de los Elementos de Euclides. Se resumen algunos pasos previos para resaltar la proposición final de la que resulta la ley cuadrática, previa aprobación del siguiente teorema, en el que como afirma Rossi *el tiempo en que un espacio cualquiera es recorrido por un móvil que parte del estado de reposo y se mueve con movimiento uniformemente acelerado es igual al tiempo en que ese mismo espacio sería recorrido por el mismo móvil, con un movimiento uniforme cuyo grado de velocidad fuese la mitad del máximo y último grado de velocidad alcanzado en el anterior movimiento uniformemente acelerado* (1997: 107). Este paso es fundamental para demostrar la ley cuadrática[3]; ahora estableciendo la proporción entre el espacio recorrido y los tiempos, se resume en la notación actual el razonamiento de Galileo junto con la gráfica que apoya dicho proceso:

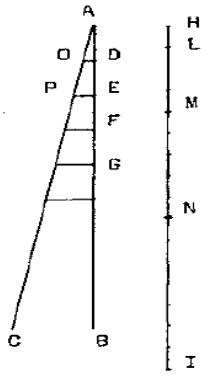
- HL, HM, …, son espacios recorridos por un grave que parte del reposo en los tiempos AD, AE, … y DO, EP, … son las velocidades en los tiempos D, E, …
- Puesto que HL se puede considerar como el espacio recorrido durante el tiempo AD con una velocidad constante de ½ AD

[3] Teorema II en la obra de Galileo: Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. p. 292.

- HM se puede considerar igualmente como el espacio recorrido durante el tiempo AE con una velocidad constante de ½ EP (Fig. 2)

Y dado que la proporción de espacios se puede considerar como una proporción compuesta de la proporción de velocidades y de la proporción de tiempos; resulta en notación actual:

Figura 2: Teorema II del Discursi de Galileo en Azcárate (1984)



$$\frac{HL}{HM} = \frac{\frac{1}{2}OD}{\frac{1}{2}PE} \cdot \frac{AD}{AE} = \frac{AD}{AE} \cdot \frac{AD}{AE}$$

Luego;

$$\frac{HL}{HM} = \frac{AD^2}{AE^2}$$

El marco euclidiano si bien era una herramienta poderosa para le época, imponía ciertas restricciones en cuanto a la conmensurabilidad de las magnitudes por lo que era urgente utilizar herramientas del cálculo que permitiera pensar en un espacio continuo y así evitar reducir el concepto de velocidad, al de velocidad media.

1.1.5 Formulación diferencial vs formulación integral

Es indudable que la continuidad está ligada al concepto de infinito (Rendón R., 2011), aun, la definición de movimiento en su doble dependencia del espacio y del tiempo, no tiene una dirección lógica en el sentido de que no siempre se debe partir de la posición para deducir la velocidad. Entendiéndose como afirma L. Díaz Solórzano y L. González Díaz (2010, pág. 183) que, *debido a que los cambios pueden ser finitos o infinitesimales, o bien porque la tasa de cambio de los diferentes lugares puede ser finita ($\Delta\vec{r}/\Delta t$) o infinitesimal ($[(d/dt)\vec{r}]$),* existen dos tipos de velocidades que denominaremos velocidad media y velocidad instantánea.

Se debe hacer hincapié en que una de las principales ventajas de la velocidad instantánea, es justamente la posibilidad de trazar en un sentido mucho más detallado la *trayectoria* de la partícula en movimiento mediante la determinación de su dirección, como cantidad vectorial. Se podría además afirmar que la velocidad instantánea, en contraste con la velocidad media, requiere una definición más funcional y no en términos de proporciones como hiciera en su momento Galileo. En cualquier caso, una y otra pueden utilizarse para hallar la otra, dependiendo del enfoque que se quiera; de este modo, “en la formulación diferencial o de diferencia se presenta la velocidad instantánea como el límite de la velocidad media, [mientras que] con la formulación integral, la velocidad media se obtiene a partir del valor medio de la velocidad instantánea” (L. Díaz Solórzano y L. González Díaz, pág. 188). La formulación matemática quedaría así:

Tabla 1: Definición operacional de velocidad instantánea y media

Formulación diferencial	Formulación integral
$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d}{dt}\vec{r}(t)$	$\langle \vec{v}(t) \rangle_I = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \vec{v}(t) dt$ Donde: $I = t_2 - t_1$

El camino escogido por Galileo, se parece (al menos traduciéndolo a la notación actual) a la segunda formulación a través de un procedimiento que podemos llamar exhaustivo. Las consecuencias inmediatas que se derivan de estas formulaciones en la enseñanza de la cinemática, se relacionan con la posibilidad de hacer propuestas didácticas que rompan con la tradicional secuencia en la que se parte del concepto de posición, luego el de desplazamiento para llegar al de velocidad media e instantánea y emprender el camino a la *inversa* desde el concepto de aceleración, pasando por la velocidad hasta llegar al de posición; si bien como hemos descrito, solo la velocidad instantánea responde efectivamente a la pregunta ¿cómo se mueven los cuerpos? En el sentido de la trayectoria.

Algo que puede parecer una singularidad pero que muestra la dependencia de una y otra velocidad, tiene que ver con el tipo de movimiento de la partícula y si este se mueve bajo interacciones o en ausencia de ellas. Supóngase que para ir de un punto A, a un punto B, una partícula se mueve en línea recta con una velocidad instantánea constante y de igual módulo que la velocidad media si empleara una trayectoria curvilínea, entonces los tiempos utilizados coincidirían (Fig. 3.).

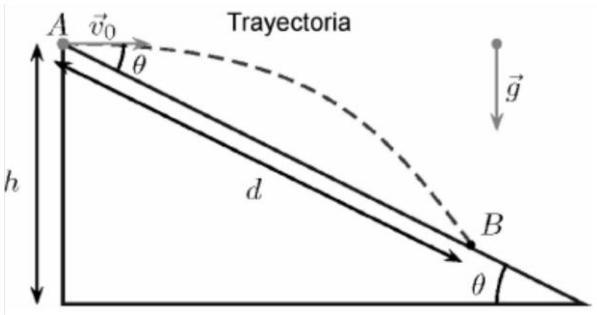
En presencia de un campo gravitacional:

$$t_v = \frac{2v_0 \tan\theta}{g}$$

Si la partícula se moviera en línea recta (por ejemplo sobre el plano inclinado):

$$\frac{d}{\left|\langle \vec{v}(t) \rangle_{t_v}\right|} = \frac{2v_0 \tan\theta}{g} = t_v$$

Figura 3: Lanzamiento horizontal de una partícula desde un plano inclinado (Díaz y González, 2010)



Comparando ambos tiempos, resulta claro que no siempre la velocidad media es suficiente para describir el movimiento de una partícula, incluso, ambos tipos de velocidad pueden verse como complementos de la respuesta a la pregunta; ¿cómo se mueven los cuerpos? acudiendo a otra clasificación necesaria, los movimientos uniformes requieren que se haga explícito lo que es uniforme, así las interacciones cobran otro sentido que dentro de la enseñanza de la física, tradicionalmente se ha dejado a la dinámica.

El rastreo hecho al origen del concepto de velocidad muestra a grandes rasgos los modelos que la ciencia ha contemplado para resolver el problema de la definición del movimiento desde lo cuantitativo. Se evidencia más allá de un cambio conceptual, un cambio en los modelos que en ocasiones se muestran más radicales que en otros, especialmente cuando centramos nuestra atención

en que el interés por hablar de una velocidad instantánea es reciente. Indudablemente esto es consecuencia de visiones del mundo físico mucho más generales como lo es la continuidad del tiempo y el espacio, para poder introducir luego el tema de función matemática.

Al tratarse de un problema de aprendizaje, debemos considerar los modelos que los estudiantes utilizan para dar explicación a los fenómenos y luego enfocarse en los motivos y el modo en que dichos aprendices cambian, modifican o sostienen dichos modelos; para esto conviene acercarnos a la teoría de cambio conceptual desde sus inicios, hasta la versión que para este tipo de trabajo conviene.

1.2. Perspectiva Didáctica

La teoría de aprendizaje como cambio conceptual tiene su inicio en el año 1982 con los trabajos de G. J. Posner; K. A. Strike; P. W. Hewson y W. A. Gertzog, investigadores de la Universidad de Cornell en Estados Unidos. Esta teoría propone un marco epistemológico para comprender las dificultades que tienen los estudiantes cuando en el aula de clase con la orientación de un docente se enfrentan a la reconstrucción de conceptos científicos. En esta teoría se plantea que la adquisición del conocimiento del educando es una actividad racional y adaptativa análoga a como los científicos construyen conocimiento de frontera.

Aquí, el cambio conceptual puede ser visto según su envergadura y por su asentamiento como radical o periférico. El primer caso ha de entenderse como una acomodación, mientras que en el segundo, se hablaría de una asimilación. Los autores advierten que aunque son términos utilizados también dentro de la teoría piagetiana, son distintos en cuanto a que se salen del marco del aprendizaje como una medida de adaptación (pero casi iguales en cuanto al proceso desequilibrio - equilibrio).

Esta teoría de aprendizaje se fundamenta en las visiones filosóficas de Thomas

Kuhn (1978) en el modo en que una teoría sustituye a otra, a través de sus revoluciones científicas cuando este no consigue explicar un nuevo fenómeno. Imre Lakatos (1989), quien considera cada programa científico alrededor de un núcleo mucho más difícil de modificar, en el que se habla de modelos que sufren cambios tan solo en la periferia de acuerdo a las necesidades de la comunidad; constituye otro de los referentes de la teoría inicial. Según dicho modelo, a pesar de que existan varias condiciones para el cambio conceptual, hay cuatro que parecen ser comunes en la mayoría de los casos:

1. Debe existir una insatisfacción con las concepciones existentes. Es improbable que científicos y alumnos hagan cambios radicales en sus conceptos a menos que perciban que pequeñas mudanzas no funcionan más.

2. Una nueva concepción debe ser inteligible. El individuo debe ser capaz de entender el nuevo concepto lo suficiente para explorar sus posibilidades.

3. Una nueva concepción debe parecer inicialmente plausible. Cualquier nuevo concepto adoptado debe por lo menos parecer tener la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores.

4. Una nueva concepción debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero. El nuevo concepto debe tener el potencial de ser extendido a otras áreas, de abrir nuevas posibilidades.

Estas condiciones actúan dentro del marco que Posner et al., denominan, ecología conceptual y que constituyen el conjunto de conocimientos vigentes que posee el individuo. Luego, esta propuesta es revisada por Strike y Posner en 1992 los cuales proponen cinco modificaciones que consideran necesaria respecto a su modelo original.

1. Un espectro más amplio de factores debe ser considerado al intentar describir la ecología conceptual del aprendiz. La idea de ecología conceptual debe tener en cuenta más factores que sólo los epistemológicos sugeridos por la historia y filosofía de la ciencia. Factores personales, sociales e institucionales deben también ser considerados.
2. Las concepciones científicas y las concepciones alternativas no son solamente objetos sobre los cuales actúa la ecología conceptual del aprendiz sino que son también partes de esa ecología. Deben ser vistas como interactuando con las otras componentes.
3. Concepciones y preconcepciones pueden existir en distintos modos de representación y diferentes grados de articulación. Pueden incluso no existir pero fácilmente parecer que existen porque son generadas, en la instrucción o en una investigación, por otros elementos de una ecología conceptual.
4. Es necesaria una visión desarrollista de ecología conceptual.
5. Es necesaria una visión interaccionista de ecología conceptual.

De todos esos puntos, Strike y Posner (1992) dicen que el cuarto y el quinto son, los más importantes:

> In the study-of conceptual change, we need to note that all the elements have developmental histories and that these histories cannot be under-stood apart from their interaction with other elements in the learner's conceptual ecology. Our view of conceptual change must therefore-be more dynamic and developmental, emphasizing the shifting patterns of mutual influence between the various components of an evolving conceptual ecology. We must say with Heraclitus that all is in flux. In conceptual change theory, it is difficult to step into the same conceptual ecology twice.

Actualmente, diversas interpretaciones del cambio conceptual abogan por visiones mucho más globales o multidimensionales (Duit & Treagust, 2008) en las

que perspectivas epistemológicas, ontológicas y afectivas se constituyan en un solo cuerpo de la teoría; ya que a pesar de contar cada una con evidencias empíricas al mismo tiempo han sido objeto de críticas justificadas por dejar a un lado las otras perspectivas. A continuación, expondremos a grandes rasgos una perspectiva multidimensional propuesta para entender mejor los cambios tanto a nivel individual como grupal en un contexto escolar propiamente.

1.2.1. El cambio conceptual desde la perspectiva evolucionista

¿Qué es un concepto? Si nos referimos a los conceptos como aquellos constructos que elaboramos los seres humanos basados en la detección de regularidades (Pozo, J. I., 2007), ¿Podemos realizar cambios sobre un mecanismo implícito de aprendizaje? La teoría de aprendizaje como cambio conceptual nos ha planteado la posibilidad de generar transformaciones por medio de procesos de instrucción sobre determinados experiencias que los individuos exponemos al enfrentarnos a situaciones que nos exijan *adaptarnos* a nuevos ambientes, sea porque el conjunto de teorías nos es insuficiente para explicar y resolver nuevas situaciones o porque simplemente carecemos de ellas.

La investigación en enseñanza de las ciencias ha seguido en las últimas décadas este modelo de base eminentemente epistemológica, ya que recoge no solo los conceptos vistos operativamente sino que abarca todos aquellos elementos que exigen al sujeto un dominio del mismo desde la terminología, las representaciones y ámbitos de aplicación (Toulmin, S., 1977).

Un concepto pues, no es tan solo su significado y está lejos de ser estático. Los conceptos al nivel del sujeto que aprende han de surgir en variadas situaciones a través de procesos similares a los que en la ciencia, en su proceso histórico de construcción, ha superado o vuelto sobre sus pasos, ya que uno de los aportes más sobresalientes de la epistemología de las ciencias al concepto de evolución es precisamente su carácter recurrente.

En el presente trabajo, se retomará los principios de la teoría de cambio conceptual bajo una mirada mucho más holística al fijar la mirada no solo sobre el cambio conceptual, sino además como afirma Pozo J. I., se debe asumir que *adquirir los conocimientos científicos requiere no solo acceder a nuevos conceptos sino sobre todo a nuevos formatos y sistemas de representación, diferentes a aquellos sobre los que se estructuran nuestras teorías intuitivas* (2007: 15). Estos cambios de representación van ligados también a cambios procedimentales, es decir abarca todo lo que conceptualmente no se explica tan solo desde los significantes.

2. Capítulo

2.1. Diseño de la investigación

El presente estudio se hace bajo el paradigma de investigación cualitativa con la metodología de estudio intrínseco de caso[4]. Esto implica una elección por comprender el caso en su complejidad y particularidad y aportar al estudio del cambio conceptual para la educación en ciencias y para la civilidad en un sentido más amplio. El caso se eligió bajo parámetros que obedecieron a la intencionalidad del investigador, para esto se diseñaron ciertos perfiles que se precisarán más adelante. Para la intervención, se siguió la metodología del *ciclo didáctico* propuesto por Neus Sanmartí y Jaume Jorba (1980) y para el análisis de los datos se definieron los temas con sus respectivos descriptores. Dichos temas se desglosaron en categorías que luego serán contrastadas en los resultados producto de la aplicación de los instrumentos.

2.1.1 Categorías y subcategorías

Se han definido las categorías como ejes transversales, que dan cuenta del problema. Éstas, han sido desglosadas en cuestiones más específicas constituyendo estas últimas el conjunto de directrices para nuestras categorías, así, cada instrumento estuvo dirigido por varias de éstas. Las categorías pueden ubicarse en tres conjuntos no necesariamente disjuntos, en primer lugar, el conglomerado de subcategorías que parten de las exigencias del problema de la tensión continua – discreta del movimiento, en segundo lugar, las que enmarcan la dinámica grupal y que hacen alusión a lo sociocultural; y en tercer lugar, las

---

[4] De acuerdo con la clasificación elaborada por Stake, Robert. (2007). *Investigación con estudio de casos*. Ediciones Morata. Madrid, España. Pág. 16

que permitirán determinar la distancia entre los conocimientos corrientes de nuestros informantes respecto a las exigencias de la disciplina.

La presente investigación se justifica al detenerse en las relaciones directas e indirectas que tienen los elementos de éstos tres conjuntos, contribuyendo de este modo a una visión global u organicista del constructivismo. El siguiente es un resumen donde se reúnen los temas y categorías pertenecientes a los tres conjuntos, de utilidad para el análisis de resultados:

Categorías	Subcategorías	Indicios
Disciplinar	Relatividad del movimiento	• Movimiento uniforme: Los cambios de lugar deben tener una regularidad geométrica en proporción directa y unitaria con la regularidad de las duraciones en las que el movimiento existe • Razón de cambio: Cociente entre dos patrones de medidas, cuando se trata de patrones medidos a partir del cambio o diferencia de dos magnitudes de la misma naturaleza. Jiménez G. y Jiménez R.
	Continuidad	• Infinito potencial: Magnitud creciente por encima de todo límite o serie de magnitudes cada vez más pequeñas que en potencia pueden hacerse más pequeñas que cualquier magnitud • Infinito actual: Es extenso y medible originado en un contexto geométrico. Permite la cuantificación y la resolución de problemas del mundo real. Rendón R. Rodrigo
	Variable de estado	• Velocidad media: Magnitud que describe el movimiento en cuanto a tasa de cambio finita. Necesita del conocimiento de la posición para dos momentos distintos. Díaz Solórzano L. y González D. L. • Velocidad instantánea: Magnitud que describe el movimiento en cuanto a tasa de cambio infinitesimal. La escala de medición asociada requiere de la posición en función del tiempo.
Sociocultural	Dinámicas de trabajo	• Roles: Liderazgo, competitividad, contradictores, pragmatismo y distribución de cargas. • Discusiones: Mediadores, impositores y normas de comunicación
	Ecología intelectual escolar	• Acuerdos: Aquellos enunciados explícitos a los que el grupo accede y que regula no solo la comunicación sino sus comportamientos • Fuentes de información: El conocimiento que expresan tiene un referente en la academia, en los medios masivos de comunicación o en medios escritos • Validez experimental: El peso que tiene para los participantes la experimentación, frente a sus concepciones alternativas
	Habilidades metacognitivas	• Autocrítica: Capacidad de los participantes de reconocer sus limitaciones. Resiliencia de los jovenes • Motivación: Carácter intrínseco • Monitoreo: Capacidad para evaluar la distancia entre el punto donde se encuentra el proceso respecto a los resultados esperados y el objetivo inicial
Epistemológica	Conocimientos corrientes	• Ideales explicativos de la ciencia: Problemas que inspiraron históricamente a los científicos dando origen los conceptos físicos
	Evolución conceptual	• Recurrencia de las teorías: Casos en los que las teorías apelan a elementos de otros paradigmas para explicar el universo. Ejemplo: Atomismo– Mecánica Cuántica
	Cambio metodológico	• Ámbitos de aplicación: Problemas de movimiento de cuerpos rígidos y movimiento de fluidos • Plano Representaciones de los conceptos: Diagramas de velocidad contra tiempo, función lineal, función cuadrática y función escalón (dominio del plano cartesiano)

Tabla 2: Temas y categorías de análisis

2.2. Metodología de intervención

Consecuentemente con los propósitos planteados y una vez abordado un enfoque didáctico que, si bien parte de una analogía entre la construcción del conocimiento científico y cómo aprende el estudiante, posee un carácter constructivista dado el énfasis puesto sobre la necesidad de que el aprendiz parta de verdaderas preguntas tal como lo haría un científico. Sin embargo, la analogía tiene sus limitaciones y cabe aquí decir que no basta con promover una actitud crítica, sino además, responsable frente a la convivencia en sociedad en pro de una formación para civilidad (Quiceno, S. Yesenia y Vélez, P. Alejandra, 2011).

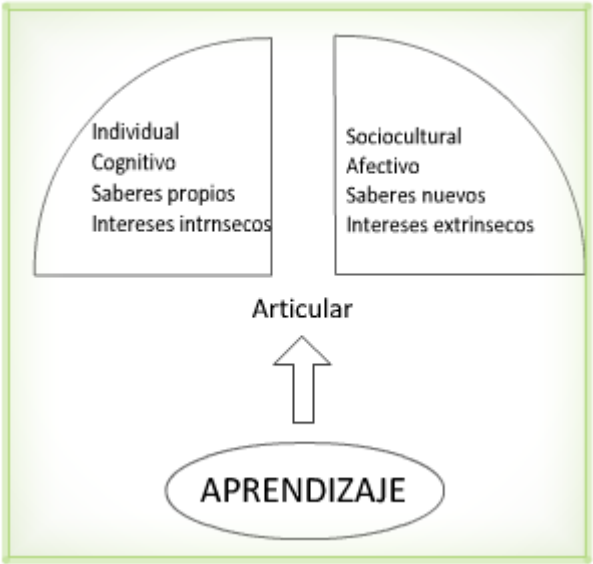
La metodología de intervención empleada en la presente propuesta será la de ciclos didácticos. Esta metodología alude a una secuencia didáctica en la cual se reconocen los intereses y ritmos de cada joven. Es importante aclarar que una vez aplicada la secuencia, la evaluación trasciende los aprendizajes netamente cognitivos y busca en todo caso rastrear cambios actitudinales, procedimentales y sociales en los estudiantes. El trabajo por ciclos didácticos no solo se halla en resonancia con los supuestos de la teoría de cambio conceptual, sino que a su vez, evita algunos dispositivos propios de ésta muy criticados, por ejemplo, en la introducción de nuevos contenidos al partir del conflicto cognitivo, con las posibles secuelas que en cuanto a las habilidades metacognitivas del joven suelen desencadenarse, esto es, una excesivo escepticismo con la inseguridad desarrollada hacia las construcciones personales.

Las fases en las que se desarrolló el trabajo fueron; una primera fase de exploración o de indagación de ideas acerca de la pregunta central, la cual tuvo en cuenta, el nivel real de desarrollo de los jovenes al modo que Vigotsky (1995) lo describe, para determinar luego la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP).

Seguidamente, y tomando en cuenta los aportes arrojados por la aplicación de las actividades de la primera fase, se llevó a cabo la fase de introducción de contenidos y experiencias que conduzcan a responder una pregunta central. Se procuró que su formulación represente un problema auténtico para el joven. Para lograrlo, se utilizó una situación en la que queden en evidencia las categorías recogidas en el estado del arte alrededor de las representaciones que, de acuerdo al contexto, la física emplea para describir el mundo unas veces desde lo continuo y otras desde lo discreto.

Es importante anotar que al emplear la metodología de ciclos didácticos, en ningún caso se trata de seguir una secuencia rígida sino todo lo contrario, se debe mostrar como un dispositivo flexible provisto de actividades y experiencias dirigidas además de implantar los productos de la ciencia, sean leyes, teorías o conceptos; generar cambios actitudinales, representacionales y procedimentales que permitan la articulación entre lo individual y lo social, lo cognitivo y lo afectivo, los saberes propios con los de la ciencia y por último y no por eso menos importante, los intereses intrínsecos con los extrínsecos (Fig. 4).

Figura 4: Conexiones del aprendizaje en la aplicación de los ciclos didácticos



Uno de los elementos claves del ciclo, se encuentra en el poder de los instrumentos para ir interviniendo la estructura conceptual del aprendiz de manera que logre la síntesis sin que se concentre en un solo momento o conjunto específico de actividades. Recordemos que precisamente una de las razones por las cuales el cambio conceptual, por lo menos en su versión más radical, no ha destacado es, como lo describe Pozo:

> "Este fracaso relativo puede deberse a dos razones principales. Una primera es que tal vez buena parte de esos esfuerzos didácticos hayan intentado cambiar, con estrategias a veces muy agresivas, las concepciones mantenidas por los alumnos, en lugar de enfocarse en el cambio de las estructuras conceptuales, o teorías implícitas, en las que tendrían su origen. Pero quizás la principal causa de ese fracaso sea la propia idea de que el cambio conceptual debe implicar un abandono del conocimiento cotidiano, lo que no solo resulta muy difícil de lograr sino que incluso puede ser inconveniente" (2007:12)

Un principio en el trabajo por ciclos consiste en desarrollar la secuencia de manera que se mueva siempre en la dirección de lo simple a lo complejo, al tiempo que se avanza de lo concreto a lo abstracto. Esto implica que la última fase de la propuesta se dedicó a explorar los ámbitos de aplicación de los

conceptos o teorías haciendo énfasis en la explicitación de las mismas. Cabe anotar que siendo una propuesta basada en el cambio conceptual como teoría de aprendizaje, en ningún caso se busca evidenciar algún proceso de sustitución de un conocimiento por otro, sino, un cambio en sus maneras de asumir la realidad en aras de una pluralidad de visiones y reconociendo siempre el dominio de cada una con sus intersecciones.

A continuación se presenta un resumen con la unidad didáctica diseñada siguiendo las fases del ciclo didáctico, dirigida a resolver el problema central.

2.3. Ajustes y coincidencias con la Pedagogía Waldorf

El colegio en el que se aplicó la propuesta tiene una visión particular avalada por la misma UNESCO, cuyo fundador, Rudolf Steiner en el año de 1919, impulsó como tarea fundamental de las escuelas Waldorf, propiciar las condiciones sociales, económicas, políticas, pedagógicas y culturales para que el docente a través de un trabajo interior concienzudo y espiritual, logre sacar del niño y del joven mediante la enseñanza más que del arte, del arte de enseñar; todas las facultades anímicas, volitivas y cognitivas que le permitan partir del hombre como ser social, cruzar el ser individual para retornar a la cultura y al mundo todo lo que le fue dado. En pocas palabras, las escuelas Waldorf se esfuerzan por hacer realidad el ideal de una educación libre poniendo el desarrollo del individuo en el centro de su pedagogía (Clouder, C. 1998).

Para controlar y monitorear eficazmente los objetivos, el primer paso fue hallar los puntos de convergencias y las divergencias entre la teoría de cambio conceptual y la pedagogía Waldorf, pero ¿cuáles son los fundamentos de la pedagogía Waldorf y qué aportes tiene alrededor de cómo aprende el joven?

En primer lugar, es importante enunciar un principio dentro de la pedagogía Waldorf que responde al problema del aprendizaje: no todos aprendemos del mismo modo, sino que depende directamente del periodo de vida en el que se encuentre. Esta división se hace por septenios, en los cuales se va dando

predominio a una u otra de las facultades de todos los seres humanos; el sentir, estimulado por tareas que le lleven a la veneración por la naturaleza y los seres humanos a través de tareas que realiza inicialmente por imitación, la voluntad que se desarrolla a través de la imaginación y el ritmo, y el pensar, que se construye a través de la fijación de ideales para contribuir a la formación del juicio crítico. Es justamente en el tercer septenio, de los 15 a los 21 años entre los que se encuentra la muestra seleccionada para aplicar la propuesta.

Como vemos, para la pedagogía Waldorf el desarrollo precede al aprendizaje mientras que para el cambio conceptual, podríamos decir que es al contrario, pues el aprendizaje viene dado, en términos muy generales, por un *reacomodo* de las piezas en la estructura del individuo para explicar nuevos fenómenos, que puede ser influenciado por la sociedad pero que no dependen únicamente de ésta y aún menos está determinado por la edad del aprendiz. Por último, el aprendizaje está íntimamente relacionado con la dinámica de la vigilia y el sueño, tan importante son ambos para que haya una aprehensión de las ideas luego de que éstas pasen por ambos periodos de conciencia–subconsciencia, por esto las áreas se organizan por épocas, es decir, por meses.

2.4. Fases de la intervención

Consecuentemente con el tipo de investigación en el que se enmarca este trabajo, es decir, investigación de corte cualitativo, se busca con la planeación, elaboración de instrumentos y evaluación de los objetivos, enfocarse en un estudio exploratorio, descriptivo e interpretativo de un grupo de estudiantes de grado 10º en una institución de carácter privado del sur del Valle de Aburrá. Las fases se pueden dividir en: aspectos teóricos, metodológicos y técnicos lo que no implica que se hayan seguido secuencialmente, sino más bien simultáneos.

Dentro del proceso de intervención, se siguió una serie de actividades dirigidas no solo al hallazgo de las representaciones, terminologías y ámbitos de aplicación en los que los jóvenes se veían obligados a sentar su posición frente al dilema del

espacio y el tiempo continuos, sino a la elucidación de la ecología intelectual escolar, orientada hacia las condiciones sobre las cuales se puede hablar de cambio conceptual unido al metodológico como premisa de la teoría de cambio conceptual de corte evolucionista.

2.4.1. Perfil motivacional de los estudiantes

En la planeación de los instrumentos a aplicar es imprescindible tener en cuenta el perfil de los estudiantes indagando el tipo de motivación por el aprendizaje en general y de las ciencias en particular. Tradicionalmente la motivación se ha entendido desde dos puntos de vista, uno *intrínseco* cuando se tiene un deseo genuino por comprender lo que se estudia y otro *extrínseco* asociado a un sistema de recompensas y castigos (Tamayo, 2009). A esto se ha propuesto en las últimas décadas, que la motivación será intrínseca mientras el conocimiento que se le presenta al aprendiz sea potencialmente *significativo*. Sin embargo, lo significativo del material o del contenido que se quiera enseñar, aún reuniendo todas las condiciones para que todo el proceso de aprendizaje alcance el estatus de sicológicamente significativo; debe tener en cuenta el carácter o predisposición del joven para trabajar bajo ciertas condiciones grupales que le hacen sentirse más cómodo. Este temperamento se puede poner en evidencia bajo situaciones más o menos hipotéticas en las que el propio joven reconoce características de su personalidad.

Desde la pedagogía Waldorf se habla de una clasificación de temperamentos que de alguna manera determinan la inclinación de uno u otro individuo para desarrollar no solo ciertas habilidades que lo facultan para desempañarse mejor en alguna tarea específica, sino que además explica el hecho de que algunas personas muestren mayor interés por trabajar bajo ciertas dinámicas propias de

su temperamento. Los cuatro temperamentos[5] de que se habla son los siguientes:

Sanguinéo: ligero, alegre, superficial, platicador, distraído y espontáneo.

Colérico: dinámico energético, insensible impetuoso, trabajador, enojón.

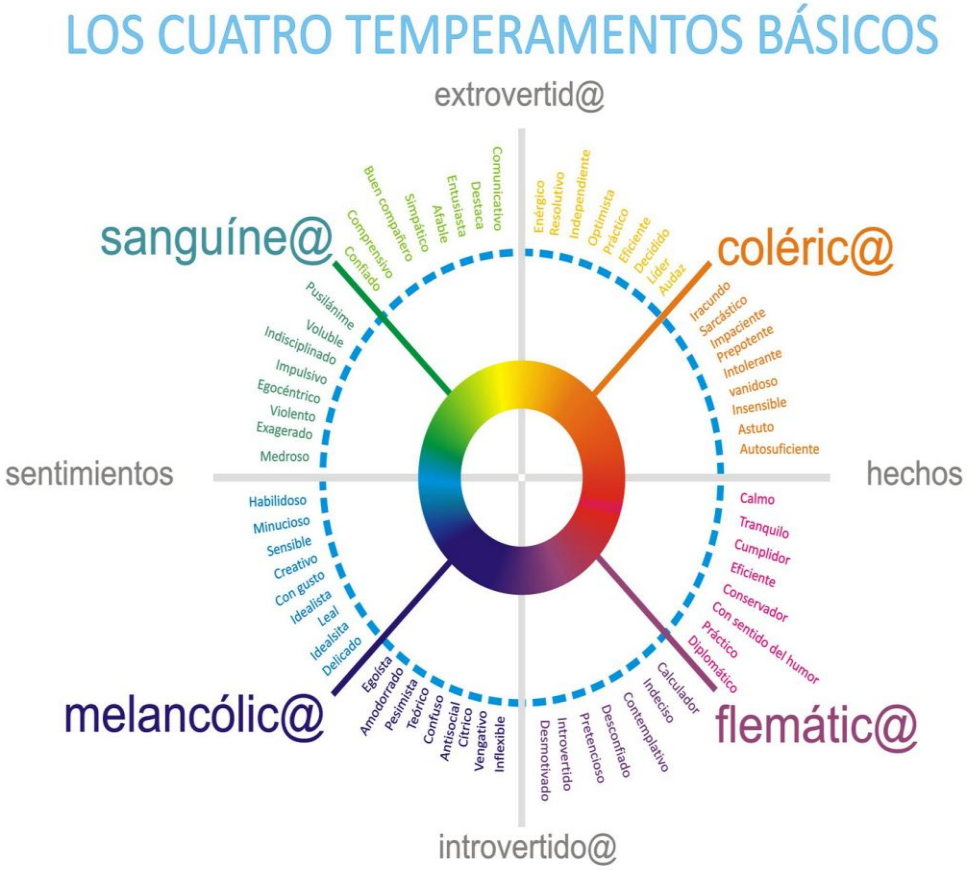
Melancólico: sensible, soñador, quejumbroso, detallista, cauteloso

Flemático: paciente, ecuánime, comodín observador, rutinario, preciso.

Ninguno de los temperamentos puede juzgarse como bueno o malo, tienen cualidades y defectos que los hacen más o menos dispuestos para ciertas tareas, sentimientos o relaciones humanas. Tienen cada uno su dual por lo que no es extraño que algunos de los estudiantes reconozcan tener algunos elementos de ese otro temperamento, también reconocen inmediatamente a su opuesto. Además pueden clasificarse en grupos de dos observando el nivel de introversión siendo los melancólicos y flemáticos quienes están en la base y los sanguíneos y coléricos en la punta de los extrovertidos. Vemos también, que los sanguíneos y melancólicos son más pasionales inclinándose más por el sentir, mientras que los coléricos y flemáticos son más pragmáticos (Fig. 5).

[5]Para ampliar acerca de los perfiles de cada temperamento, ver: Barocio, Rosa. (2005). *Los temperamentos en las relaciones humanas*. Ed. Pax México. Primera reimpresión de la tercera edición. México.

Figura 5: Los cuatro temperamentos. Tomado de:http://www.lavondyss.net/2012/12



2.4.2. Situación problema

Definir un problema auténtico es quizá el reto más importante para los docentes. Trabajar mediante situaciones problema implica romper con el modelo lineal con el que tradicionalmente se inicia un tema, es decir, iniciar con la definición de cinemática, pasar tal vez a precisar lo que se entiende por velocidad y a partir de aquí, clasificar los dos tipos de movimiento, esto es, con aceleración nula y con aceleración constante. De este modo el estudiante se ve avocado a aceptar todo cual le es dado y no es extraño preguntarse por qué éstos escasamente responden ante una clase sin estímulos creativos. Es así que la época[6] de física luego de haber estudiado la unidad de vectores, se inició la unidad de cinemática con la pregunta:

¿Se puede percibir el movimiento propio?

Luego de explicar a qué nos referimos con movimiento, se les tradujo la misma pregunta en un caso particular:

¿Podemos percibir el movimiento de rotación terrestre?

Así los jovenes se vieron movidos por una pregunta que aparentemente pertenece al acervo cultural de toda persona medianamente instruida y que sin embargo, no tenía una respuesta contundente. Esta pregunta permitió explorar varios conceptos; movimiento en primer lugar, referente inercial, movimiento uniforme, velocidad constante y variable, entre otros. Luego de este momento, que se convirtió en un debate alrededor del problema en cuestión, se despertó en ellos la necesidad de poner a prueba las concepciones alternativas que conformaban su estructura conceptual.

Con esta pregunta no se busca plantear una situación anómala o crear una

[6]También llamada clase principal en la pedagogía Waldorf y que corresponde a un periodo de un mes, durante el que los estudiantes se dedican al estudio de una asignatura o área del pensar (matemáticas, español, física, etc.)

insatisfacción en el estudiante, más bien, a través de un problema conocido, se provoca en ellos la necesidad de recurrir a hechos o términos más objetivos que rompan los problemas de comunicación de sus propias ideas y generar a partir de allí relaciones entre el conocimiento cotidiano y el escolar.

Actividades de exploración

Para abordar la pregunta se propuso una actividad de consulta en la red acerca de la caída de los cuerpos, previa a la exposición magistral que inició con una retrospectiva del debate suscitado en la situación problema. La consulta constituye un recurso didáctico surgido de la experiencia práctica desarrollada por el profesor Manuel F. Alonso[7] en la IES Leonardo da Vinci (Alicante España), donde los estudiante tuvieron la posibilidad de hacer una lectura histórica e interactuar con un Applet en el que dejaban caer varios objetos de distintas masas desde la torre de Pisa. Posteriormente se dio una lluvia de ideas y se aprovechó la oportunidad para introducir el concepto de referente inercial.

Antes de enfrentarse a cualquier trabajo experimental que implique tomar medidas, el grupo debió enfrentarse a la concepción de espacio y tiempo que cada uno tiene en la siguiente situación:

> Un padre con su hijo caminan juntos hacia su casa con un módulo de velocidad constante. En un punto dado del camino el hijo ve a su madre que está sentada en la puerta de su casa y aumenta al doble su módulo de velocidad para ir a darle un beso. Cuando llega a ella, ve a su padre aún lejano y vuelve hacia él con el mismo módulo de velocidad. Después el hijo vuelve a besar a la madre y otra vez regresa junto a su padre. Esto lo repite el hijo, una y otra vez, hasta que ambos llegan juntos a la puerta de la casa. ¿Qué distancia ha recorrido el hijo si la distancia entre la puerta de la casa y el punto donde el hijo vio por primera vez a su madre es D?

Este evento, busca indagar por la metodología que usa cada estudiante para

[7] Para ampliar, puede remitirse a la revisa Alambique: Didáctica de las ciencias Nº 69 Julio 2011, Pág. 99-112

enfrentarse al infinito matemático *vs* el infinito físico. A esta altura, los estudiantes ya sabían que no existe una respuesta categórica a la pregunta inicialmente planteada, y fue así como se centró esta vez la atención en saber qué tipos de movimiento son los que son percibidos por nuestros sentidos y cómo diferenciarlos a partir de procesos de medición, se hizo necesario diseñar entonces una práctica de laboratorio con planos inclinados.

Actividades de estructuración y síntesis

En este apartado, los estudiantes, previa explicación del docente, utilizaron la V de Gowin para resumir y estructurar los resultados y establecer relaciones entre las acciones que corresponden al HACER y las que son del PENSAR. Se hizo necesario introducir las gráficas x *vs* t para que la información se presente en un diagrama que arroje luces sobre el fondo geométrico del fenómeno estudiado, esto es, básicamente y con las variaciones que cada equipo de trabajo agregó, establecer si el movimiento de un carrito por un plano inclinado se mueve variando su velocidad o si ésta es constante.

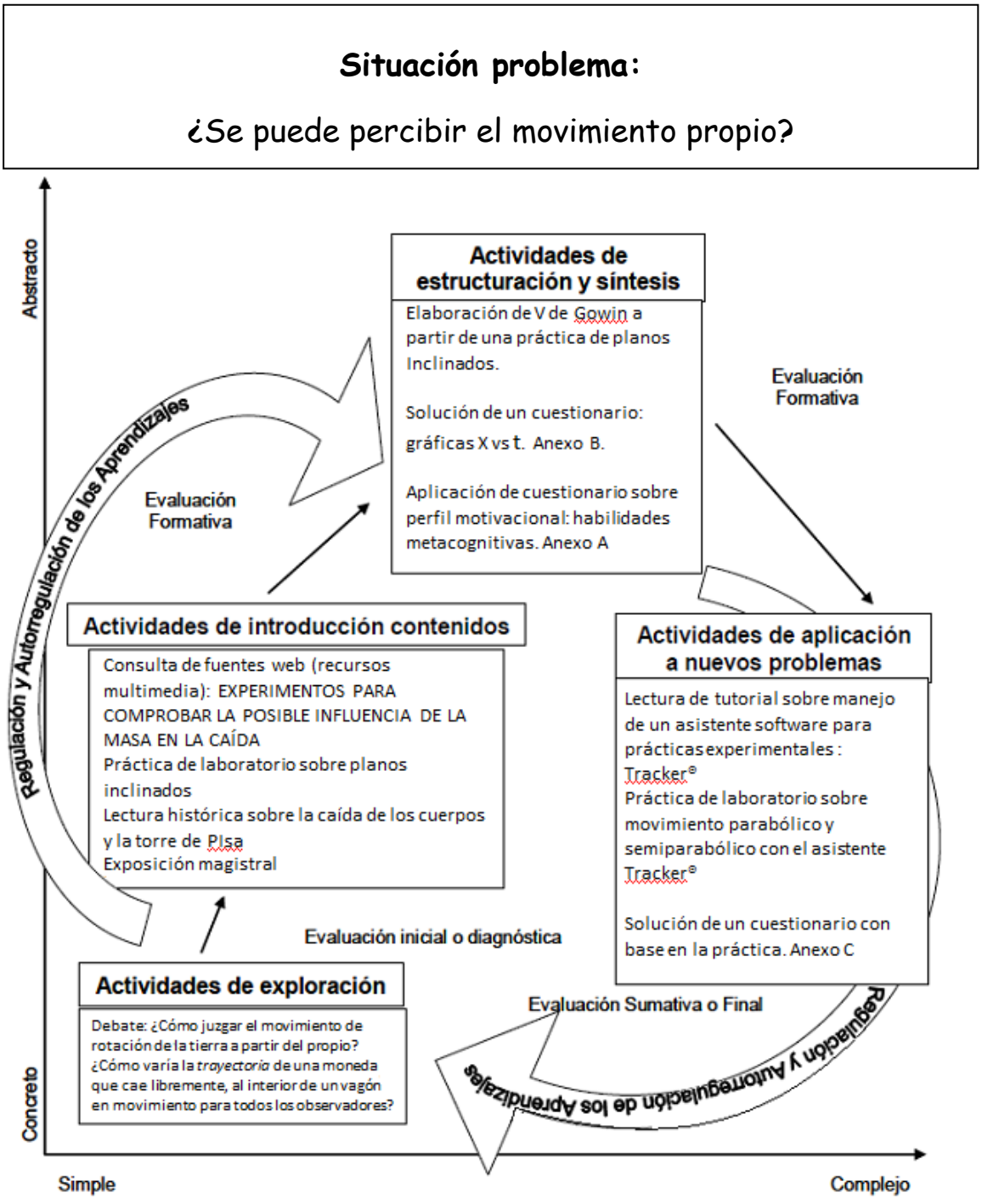
La V de Gowin permite aclarar las habilidades metacognitivas que cada individuo tiene para identificarse más con uno u otro aspecto del pensar o hacer lo que se encuentra íntimamente ligado al tipo de temperamento al que pertenece según la pedagogía Waldorf. Esta condición es influye necesariamente en la evolución conceptual del aprendiz, si bien como afirma Pintrich, [aquellos] *estudiantes que creen que pueden aprender y confían en sus habilidades, son más hábiles para emplear estrategias auto-reguladoras. […] Son estudiantes que se distraen menos y tienen mayor posibilidad de activar conocimientos previos relevantes* (Tamayo, 2009:174).

Actividades de aplicación a nuevos problemas

En este momento los estudiantes se enfrentan a una práctica *semi-virtual* en la que se analizan dos fenómenos que obliga a los jóvenes a ampliar el ámbito de

aplicación del movimiento con velocidad uniforme y el movimiento con velocidad uniformemente variada, este es el Movimiento Parabólico. No obstante se introduce una variación, pues se pide al grupo filmar el movimiento de un balín que es disparado por un pequeño cañón y la trayectoria de un chorro de agua que sale por un orificio hecho a una botella en su superficie lateral. De este modo, los estudiantes por las características del asistente virtual utilizado para capturar todo el movimiento, se ven en la dicotomía de lo discreto y lo continuo y el concepto de masa puntual se vuelve insuficiente para medir la velocidad del chorro y determinar la trayectoria del mismo. Al final los estudiantes analizan las virtudes y desventajas de contar con un asistente virtual para modelar algunos fenómenos naturales y cómo mejorarlos para futuros sucesos. Se resumen los pasos seguidos en el ciclo didáctico atendiendo a los niveles de complejidad y de abstracción de las actividades, e incluyendo el tipo de evaluación de acuerdo a cada fase del proceso (Figura. 6).

Figura 6: Fases del ciclo didáctico. Intervención de aula[8].



[8] Modificado del Proyecto de Recontextualización de Planes de Área de Ciencias Naturales. U. de A. 2007

3. Capítulo

3.1. Resultados de la prueba sobre perfil motivacional: descripción del caso

Para elegir los informantes, quienes constituyen el caso de estudio como tal, se analizaron tanto las respuestas del instrumento para determinar el perfil motivacional, como el cuestionario de conceptos previos. Las respuestas al instrumento Nº3 (Anexo A), arrojaron pistas sobre los temperamentos de cada uno de los estudiantes del grupo, depurando luego aquellas posturas que sobresalen como, liderazgo, el trabajo en equipo, el gusto por la academia, la reflexión, su inclinación por las ciencias o por las artes, todo esto, en los niveles propuestos desde el carácter o personalidad en la Fig. 5. Esto posibilitó que los informantes no se vieran afectados en ambientes aislados que modificaran de algún modo sus respuestas.

Es importante anotar que algunos aspectos fueron contrastados luego en la entrevista focal, donde se reflejó con un nivel de honestidad confiable, el compromiso y la conciencia con la que se desempeñaron cada uno de los participantes en las actividades.

El primer elemento característico de los participantes es que se mueven entre dos tipos de temperamentos; o son sanguíneos o coléricos, ambos propios de personalidades extrovertidas y pragmáticas. Algunas de las descripciones hechas por ellos, reconocen en sí mismos preferencias por las ciencias naturales lo que para los propósitos del presente trabajo, está por encima del nivel de acuerdo al rendimiento académico, sin que sea necesariamente bajo. Se transcriben algunos

renglones de las respuestas dadas por nuestros 5 informantes, en adelante; Lisa, Lina, Isa, Vale y Leo[9]:

Lisa:

> […] Me encantan los trabajos manuales como dibujos, maquetas, tejidos o cosas que manualmente sean largas y requieran exactitud. Me gustan mucho materias como química, biología, matemáticas y física más o menos (me gusta la parte de lo micro).

Lina:

> […] Me gusta organizar mi tiempo para poder hacer lo que necesito cada día. No me inclino mucho por las artes, prefiero lo que tenga que ver con investigar, demostrar, etc.

Caro:

> […] Considero que me va muy bien en las materias pero nunca me ha gustado alardear sobre mis logros y mucho menos verme o creerme mejor que los otros.

Vale:

> […] Me gusta más la parte de las artes y me encanta la biología porque la considero como un arte también.

Leo:

> […] Soy Leo, una persona que se dedica a lo que se propone y no se intimida por los comentarios de los demás, un poco incumplidos con las tareas pero siempre que son materias de matemáticas, se dedica.Otros

[9] Los nombres son ficticios y se hace para proteger la imagen de los estudiantes

rasgos recolectados en el test motivacional se resumen en la siguiente matriz en la que se verifican habilidades metacognitivas, sociales o interpersonales y cognitivas que ellos mismos reconocen, las cuales marcan diferencia entre los jóvenes:

Tabla 3: Matriz de habilidades de los informantes

Informantes / Habilidades	**Metacognitivas**			**Interpersonales**			**Cognitivas**		
	Monitoreo	Autocrítica	Motivación intrínseca	Liderazgo	Independencia	Mediador	Comunicativas	Lógica	Experimentación
Lina	✓		✓		✓			✓	✓
Lisa	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Caro		✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Vale		✓	✓		✓				✓
Leo	✓		✓		✓			✓	✓

3.2. Resultados de la prueba de modelos explicativos

Los modelos explicativos que los informantes utilizan para hablar del espacio y del tiempo fueron puestos a prueba en el primer cuestionario, el cual resolvieron junto con todos sus compañeros de clase. De acuerdo con los temas y categorías definidos en el capítulo dedicado a la metodología, la continuidad del espacio se pudo indagar en las preguntas 1 y 2 del cuestionario.

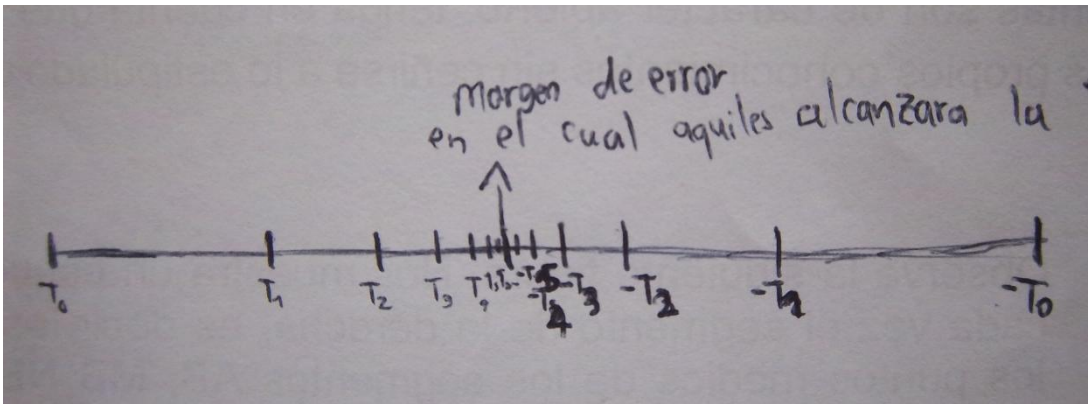
En estos puntos, cabe resaltar la diferencia que hacen la mayoría de los participantes entre infinito físico (dinámico) e infinito matemático. Se transcriben algunas de las respuestas dadas, cuatro de los cinco, hicieron descripciones escritas mientras que Leo elaboró una representación gráfica para explicar la continuidad del espacio pero representándolo en una sola recta, tiempo y espacio

Tabla 4: Respuestas al taller de conceptos previos

Informante	Pregunta 1	Pregunta 2
Leo	Depende, si fuera con cuerpos reales y una distancia recorrida si llegaría al punto B ya que tiene un margen de error, pero si fuera matemáticamente hablando, sería infinito.	Sí es posible que la alcance porque al acabar la recta, los dos cuerpos estarán iguales, después de la recta, queda invertido, cuando la tortuga recorra $-T_2$, Aquiles estará en $-T_1$ y así sucesivamente (ver Figura 7)
Caro	Opción 1: No, porque B es un punto de referencia el cual nos sirve para sacar mitades, por ende no sería una mitad. [2a] Opción 2: Sí ya que el punto B permanece “quieto” como punto de referencia mientras se van sacando mitades y al final la última mitad coincidiría con el punto B.	Sí la alcanza pero al final, porque la tortuga lleva el doble de distancia pero Aquiles el doble de velocidad, al final, se equivalen

Vale	La “B” puede llegar a coincidir con la bisección si se sigue haciendo la división ya que la “B” siempre está en el mismo punto.	Aquiles llega a alcanzar la tortuga porque él es más rápido que la tortuga y en un punto se encontrarán
Lina	Sí porque se está dividiendo un segmento de línea que tiene fin, si fuera una línea infinita siempre seguiría dividiéndose pero en este caso, creo que sí se encuentra con el punto final (B).	Sí la alcanza, por el sólo hecho de ir a más velocidad que la tortuga
Lisa	Podrían seguirse haciendo bisecciones y llegaríamos al punto (B), pero ya no habría ningún segmento o trayecto que recorrer. Además matemáticamente daría infinito	Pienso que es posible que Aquiles la alcance a medida que la distancia es más pequeña (la mitad de la mitad; según la gráfica). Porque aunque la tortuga tiene una ventaja en la distancia, la velocidad de Aquiles cambia y la sobrepasará (pero eso depende de la ventaja que la tortuga tenga)

Figura 7: Solución dada a la paradoja de Aquiles y la Tortuga por un estudiante



Las nociones de infinito y de continuidad, se aplicaban al concepto de velocidad instantánea particularmente en la pregunta 3. Aquí, tan solo en un caso, el

resultado coincidió con lo planteado por Romero A. (2003) ya que los demás participantes, si bien le dieron un valor a la velocidad en cada uno de los *estados*, es decir, se toma el reposo como un grado más de movimiento, tanto en la situación A como en la B, no siempre se identifica la caída libre como un movimiento acelerado:

. **Figura 8**: Solución dada por Lisa a la pregunta 3

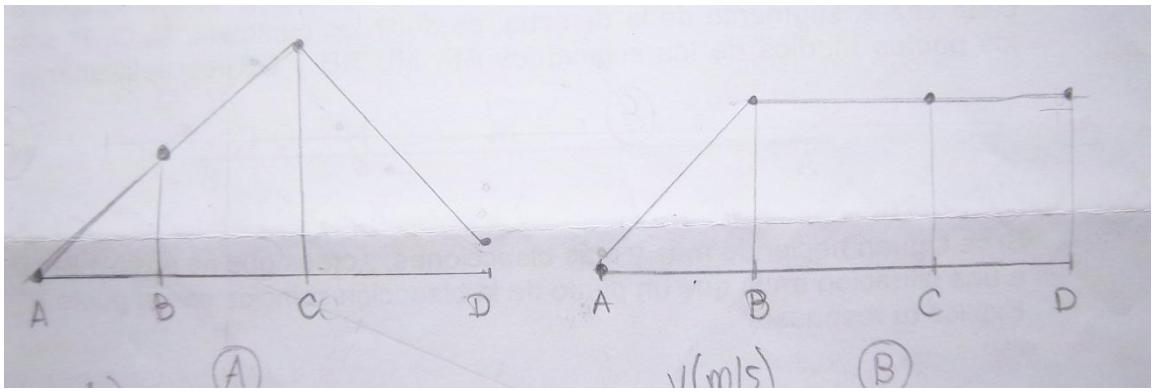
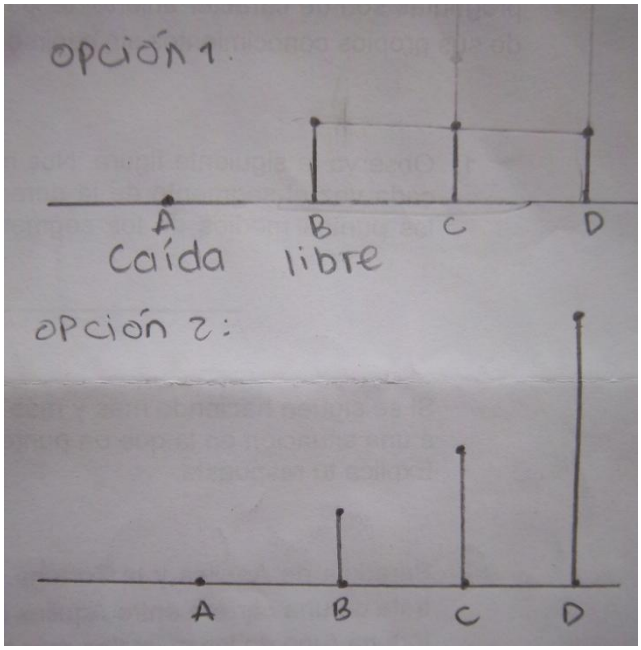
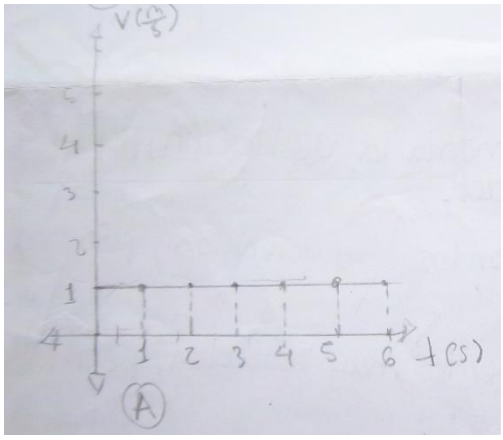
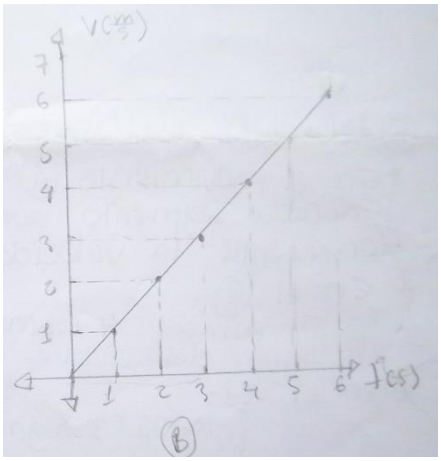


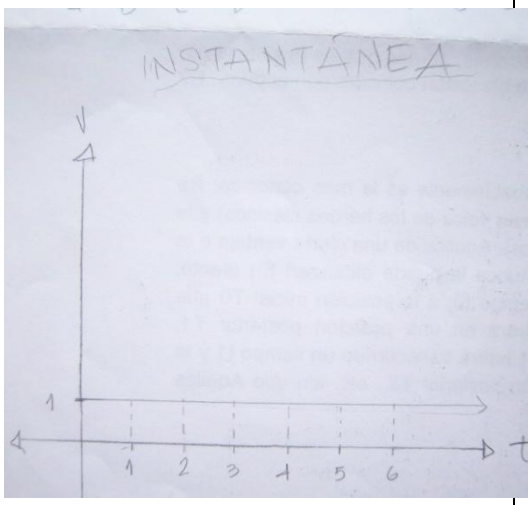
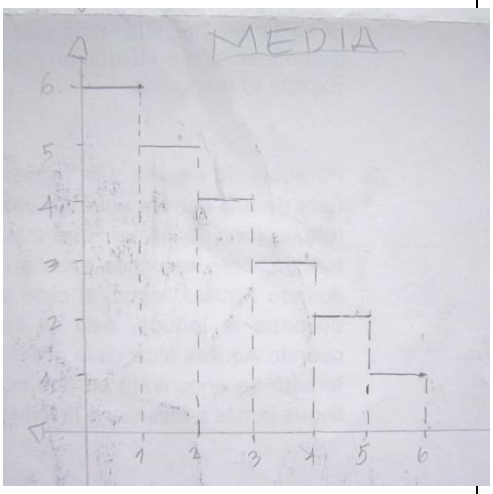
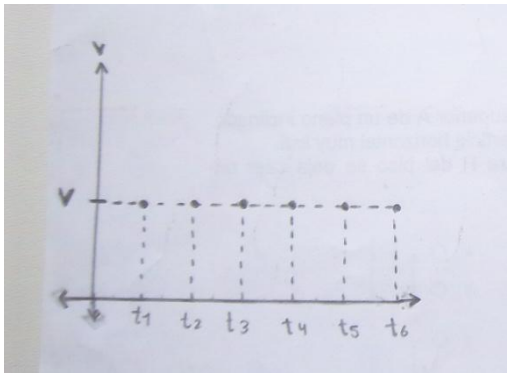
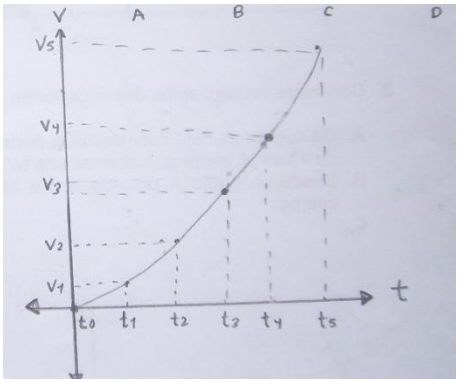
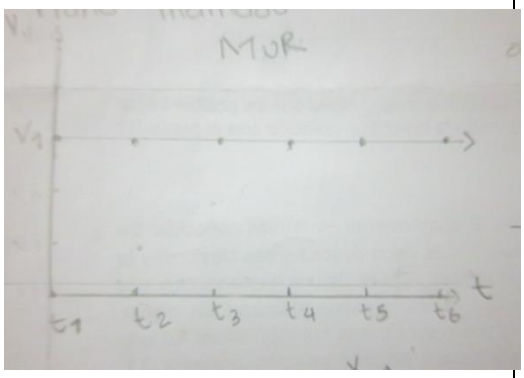
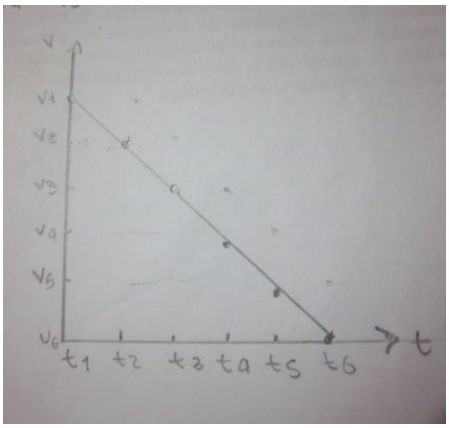
Figura 9: Soluciones dadas por Caro a la pregunta 3.

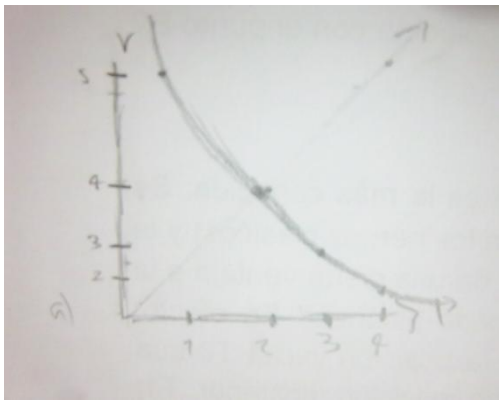
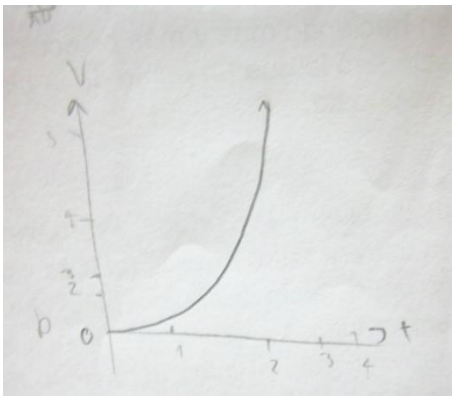


Cuando se les pidió graficar los grados de velocidad instantánea y media en la pregunta 4, si bien utilizan adecuadamente el plano cartesiano para representar las variaciones de tiempo y espacio, no reconocen muy bien en el plano inclinado, si los cambios de velocidad son los uniformes – línea recta – o variables – segmento parabólico –. Además, en algunos casos los puntos son aislados lo que indica una noción discreta del tiempo por los valores que acompañan los ejes coordenados que ellos mismos dieron, y en un solo caso, Vale representa la velocidad media en el plano inclinado de manera escalonada, diferente a los otros participantes aunque decreciente:

Tabla 5: Velocidad media e instantánea según el taller de conceptos previos

Informante	**Representación gráfica de la velocidad A.**	**Representación gráfica de la velocidad B.**
Lisa		

Vale		
Lina		
Caro		

Leo		

Se observan coincidencias al graficar el movimiento rectilíneo con velocidad uniforme, no así en el caso de la esfera que rueda por un plano inclinado.

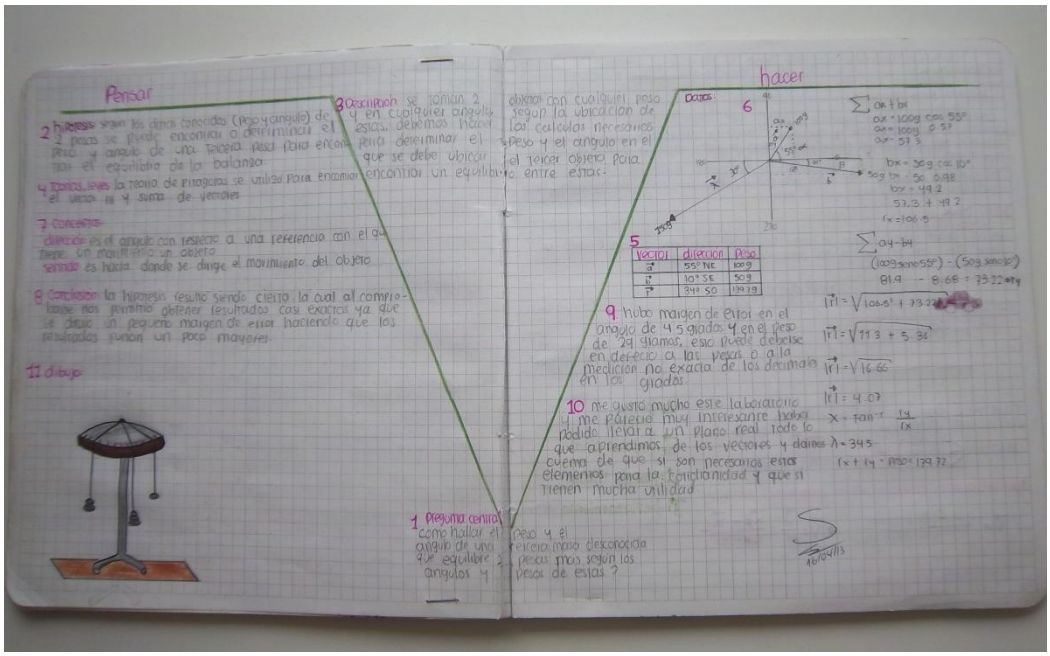
3.3. Resultados de la práctica con planos inclinados: observación, descripción y análisis mediante la V de Gowin

El uso de la V heurística como herramienta para la resolución de problemas, en la enseñanza de las ciencias (Escudero, C., Moreira, M. 1999; Gil, J., y otros, 2013) así como estrategia para desarrollar prácticas de laboratorio (Sanabria, I., Ramirez, M. y Aspeé, M., 2006; Flores, J., Caballero, M. y Moreira, M., 2009) ha sido ampliamente desarrollada especialmente en el marco de la teoría de *Aprendizaje Significativo*; pero además, se ha reconocido en las mismas publicaciones, las ventajas de este instrumento para ampliar las habilidades metacognitivas de los aprendices, lo que la hace perfectamente compatible con la teoría de cambio conceptual, toda vez que lo que se pretende es que el individuo haga conscientes no solo las falencias de su aparato conceptual, sino de las maneras o procedimientos que utiliza para resolver un problema o explicar un fenómeno no corriente o por fuera de su experiencia inmediata.

Desde antes de la aplicación de los instrumentos, los participantes ya se habían familiarizado con el uso de la V, de acuerdo a ciertas pautas que resultan más una adaptación a las necesidades del currículo Waldorf, sin abandonar su

esencia por supuesto, he aquí una muestra de la unidad de vectores, previa a la de cinemática:

Figura 10: Ejemplo de V heurística aplicada al tema de vectores



En el problema que nos ocupa y teniendo en cuenta el ciclo didáctico propuesto, inicialmente se hizo una práctica por equipos, en el vértice de la V, cada grupo redactó la pregunta a responder con la práctica basándose en las mediciones de desplazamiento y tiempo.

En las V presentadas por los informantes, se notó coherencia entre la pregunta, la hipótesis y la conclusión, además se apoyó en todos los casos de gráficas x *vs* t y x *vs* t^2 (Fig. 11 – Fig. 12) para observar la proporcionalidad entre estas últimas variables. Para efectuar los cálculos, todos recurrieron a la definición operacional de velocidad media, sin embargo, los estudiantes aún no diferencian claramente entre velocidad media e instantánea, ya que si bien se trata de una trayectoria rectilínea, el movimiento no es uniforme en la velocidad, en cuyo caso, no coinciden sus valores.

Figura 11: V heurística en la práctica de planos inclinados.

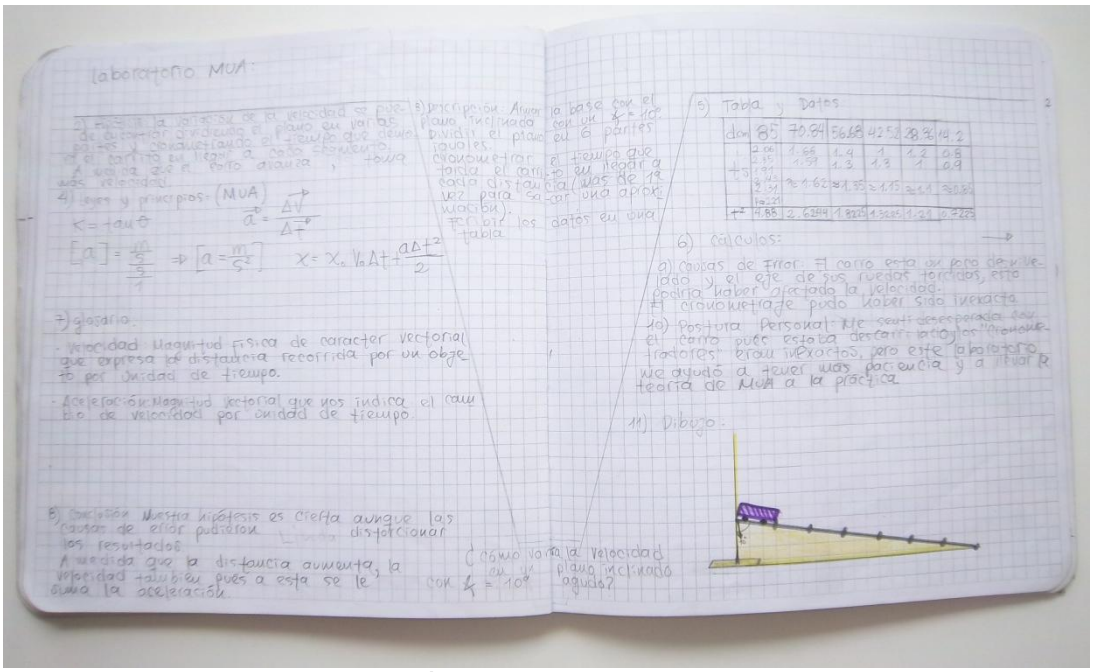
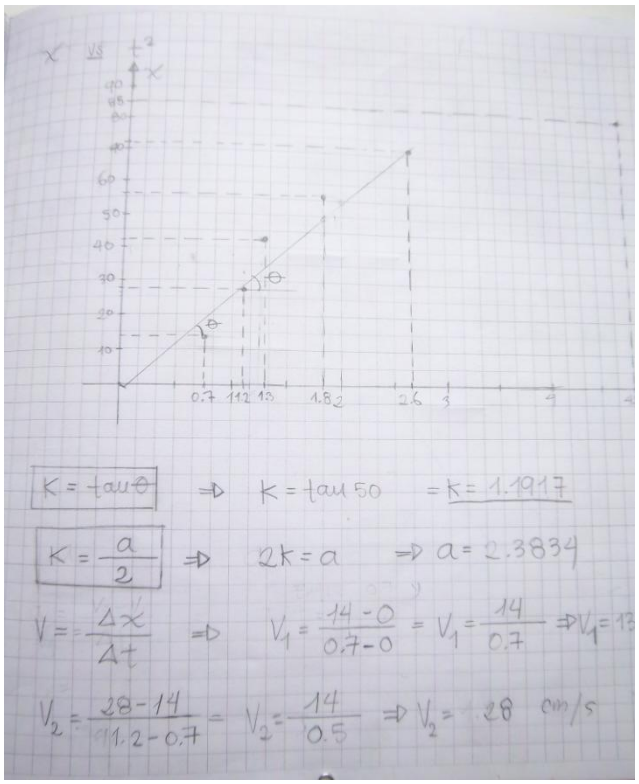
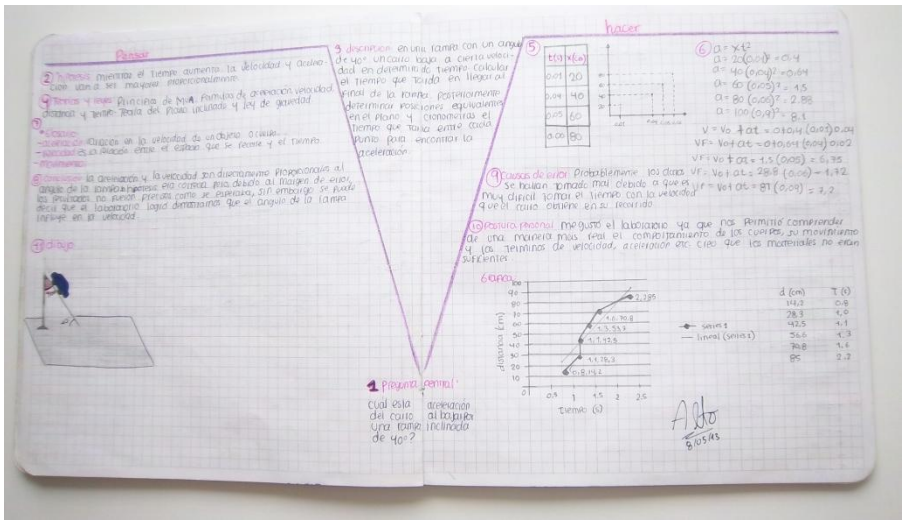


Figura 12: Gráfica de x vs t. Cuaderno de Lisa



Para graficar, algunos equipos como el de Lina, usaron Excel con el fin de contrastar la pendiente de la gráfica v *vs* t, hecha en el cuaderno, con la que arroja el programa automáticamente (Fig. 13).

Figura 13: V heurística hecha por Lina en la práctica de planos inclinados

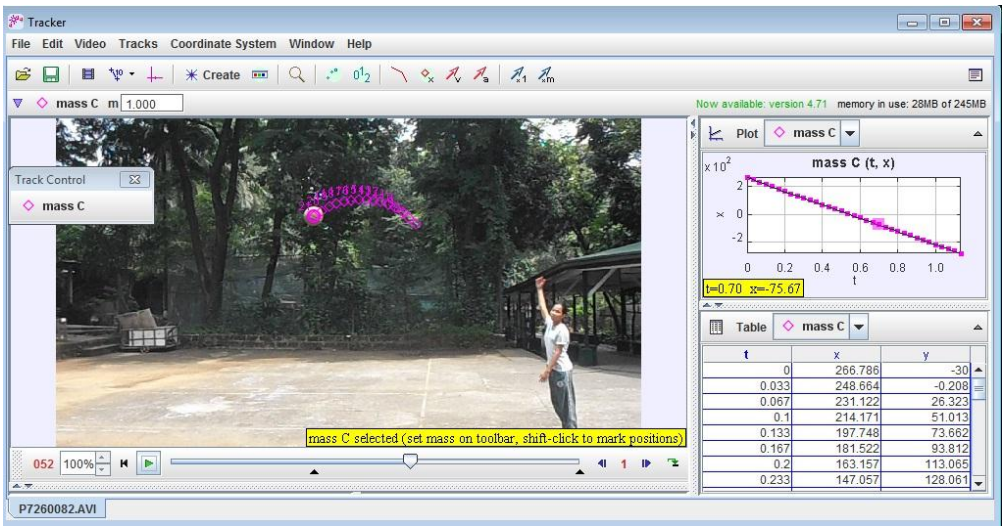


Entre la postura personal y las causas de error que cada uno de los informantes identificó, constó como era de esperarse, la dificultad para medir tiempos con exactitud ya que los instrumentos análogos, inducen siempre un margen de error que en ocasiones retaba la paciencia de algunos estudiantes. Esto es por supuesto una observación deseable ya que en la siguiente actividad, se pondría a prueba una vez más los las limitaciones no solo de los instrumentos sino de la imagen que cada uno tiene de masa puntual y cómo de despliega esta por un espacio continuo.

3.4. Resultados de la práctica con un asistente virtual: Tracker®

El paso de los medio análogos al uso de las herramientas TIC, se dio naturalmente luego de reflexionar sobre las limitaciones de los instrumentos utilizados. En esta ocasión, los estudiantes filmaron el lanzamiento de un balín y la caída de un chorro de agua, para luego determinar la trayectoria de ambos movimientos a través del asistente Tracker® (Fig. 14).

Figura 14: Interfaz de Tracker®



Este trabajo despertó interés en los estudiantes quienes utilizaron sus dispositivos para grabar los eventos, aparte de que obligó a explorar nuevos usos del computador. Todo el trabajo se hizo con la orientación de las preguntas que aparecen en la guía de trabajo (Anexo C). El funcionamiento del asistente requiere que se defina un patrón de pixeles que identifica como la *masa puntual*, éste se ubica a conveniencia en el centro geométrico del objeto que se mueve cuadro a cuadro, luego es buscado en un área delimitada por el usuario y es así como se va creando la sensación de movimiento, sin embargo, hay dificultades para que el programa identifique un patrón continuo como lo es un fluido que tendría principio pero no un fin reconocible para el software.

En las imágenes tomadas por los estudiantes, se nota que tuvieron pocas precauciones para establecer el patrón de medida al ubicar la regla detrás del recipiente que recibía el agua, además, se ve la dificultad para trazar la trayectoria precisa del chorro de agua en contraste con el balín:

Figura 15: Práctica de vaciado de tanques con Tracker® por el equipo de Vale

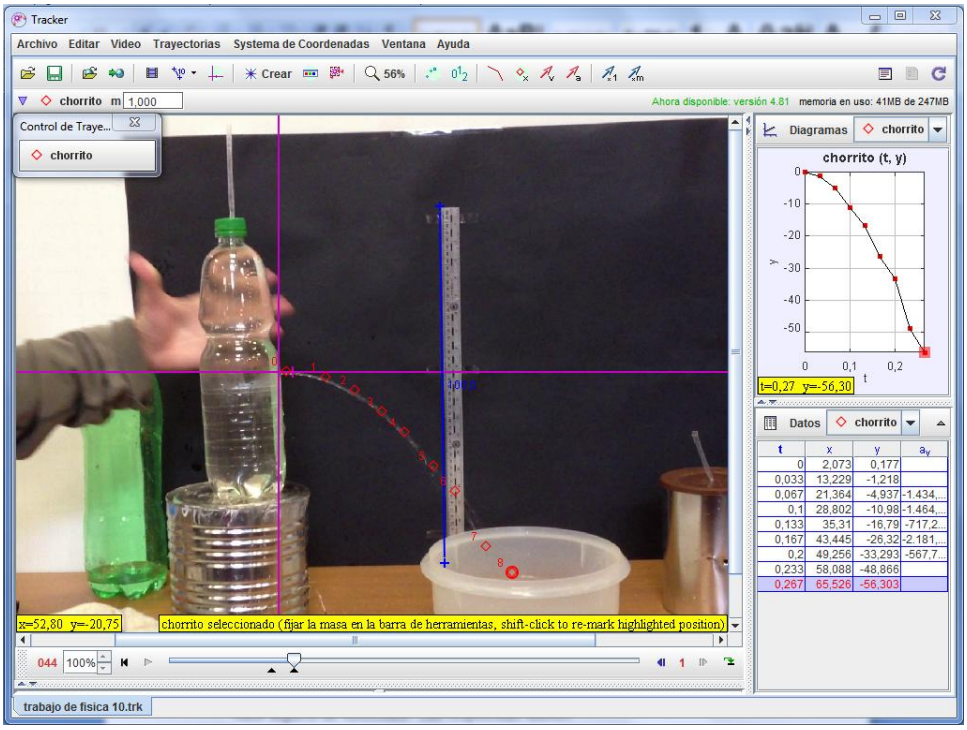
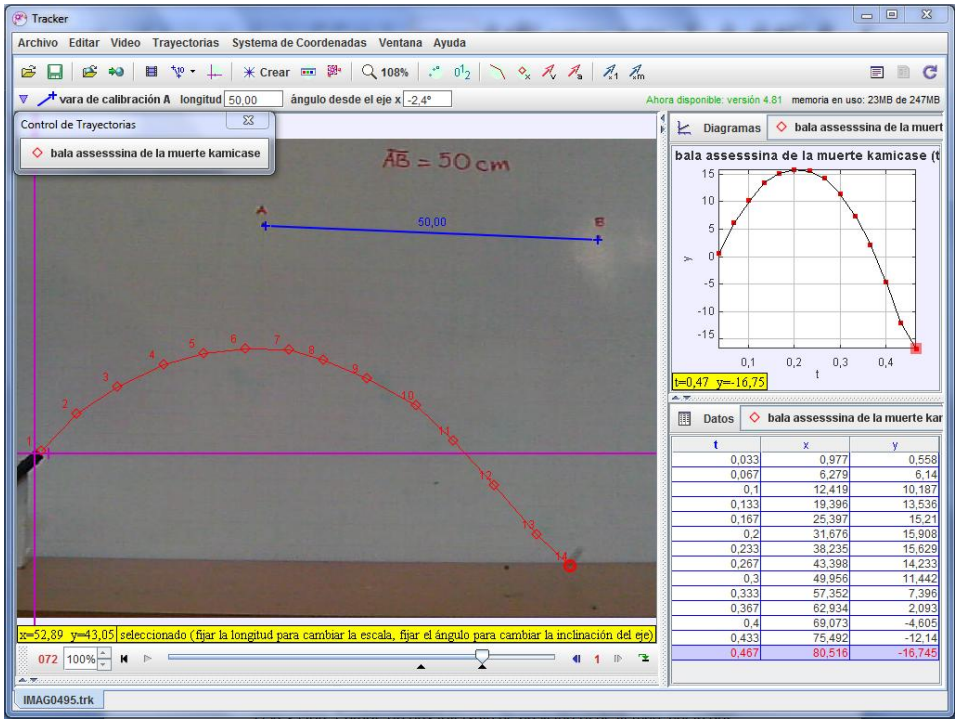
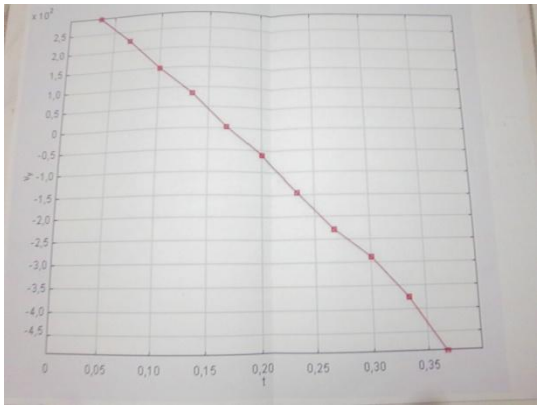
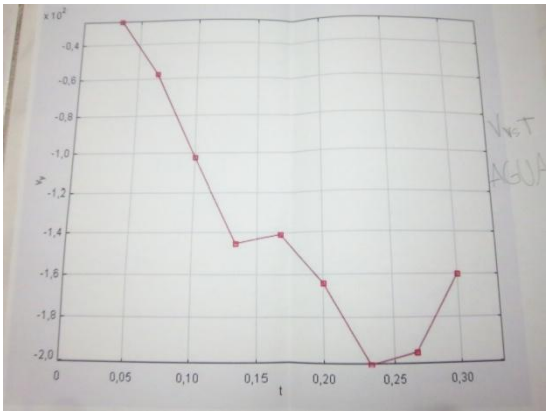


Figura 16: Lanzamiento de un balín en Tracker® por el equipo de Vale



El equipo de Leo logró la independencia de los movimientos, caída libre y movimiento uniforme rectilíneo en el caso del balín, al representar adecuadamente la velocidad media entre cada intervalo de tiempo pero en el caso del chorro se ve la irregularidad en la propia gráfica importada de Tracker®.

Figura 17: Gráfica de v_y en Tracker® por el equipo de Leo

Cañón con balín	Chorro de agua
	

El desempeño de los informantes varió menos que en las otras actividades lo cual se evidenció en las respuestas a los literales de la pregunta 2 con base en las gráficas importadas desde Tracker®.

A la pregunta; ¿Por qué para el primer instante el programa no muestra valor alguno de velocidad? Las respuestas fueron:

Lisa y Lina: Porque no hay intervalo de posición ni de tiempo, por lo que no tenemos los suficientes datos (Δx/Δt) y el programa calcula cuadro a cuadro y no tiene un cuadro anterior para calcular *v* [velocidad] media.

Vale: Porque no tenemos los suficientes datos (x_f - x_o) y el programa se basa en esta fórmula

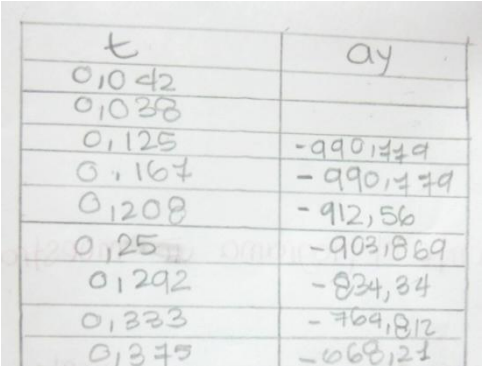
Caro: Porque en la primera velocidad no se tienen los datos específicos para realizar la ecuación:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Análogamente se obtuvo respuestas para el literal b) cuando se indagó por la ausencia de la aceleración para el segundo instante.

En el siguiente literal, las respuestas tan solo Caro, observó que dicha aceleración vertical, se aproximaba al de la aceleración gravitacional (Fig. 15), 980 cm/s^2, los demás se limitaron a decir que decrecía pues era negativo pero no vieron una tendencia en la gráfica.

Figura 18: Tabla de valores de la aceleración vertical recuperada de Tracker® por el equipo de Caro



t	ay
0,042	
0,088	
0,125	-990,179
0,167	-990,179
0,208	-912,56
0,25	-903,869
0,292	-834,34
0,333	-764,812
0,375	-668,21

A la pregunta; Si pudiéramos obtener un video con una resolución mejor ¿cuál sería el valor de la velocidad para la esfera en su punto más alto?, solo Leo identificó para el balín que la velocidad se aproximaría a cero, mientras que Lisa, Lina, Caro y Vale contestaron que la velocidad sería mayor y más exacta al tener la posición precisa del balín, aún Caro, contestó que la velocidad tendrá el valor de 980 cm/s^2, lo que indica una confusión entre aceleración y velocidad.

Entre las relaciones halladas comparando el movimiento semiparabólico del chorro de agua con el del balín, los participantes mencionaron:

Lisa y Lina:

1) En la altura: la “h” de la esfera crece y decrece el chorrito de agua solo decrece
2) En la velocidad: la esfera cuenta con un impulso lo que le da más velocidad que el chorrito de agua que sólo tiene presión
3) En la *dx*: el recorrido de la esfera es mayor que el del chorrito de agua
4) En la aceleración: la aceleración del chorrito de agua es proporcional a la presión y la aceleración de la esfera es α al impulso con el que sea lanzado
5) En la *dy*: la curva del chorrito es visualmente la mitad de la curva de la esfera.

Ninguno de los informantes alcanzó a dominar la herramienta del software para ajustar la curva a un modelo matemático automáticamente por lo que ese punto no fue contestado. Finalmente las ventajas y desventajas que ellos anotaron de usar este asistente virtual fueron, en resumen:

Ventajas:

- Permite visualizar parte por parte un movimiento parabólico o de cualquier índole con cualquier velocidad (Lina y Lisa)
- Se obtiene más precisión en los cálculos, nos dan los datos y se observan las gráficas exactas (Caro)
- Permite mover el video por cuadros y tiene función cronómetro (Lisa)
- El programa es muy bueno ya que muestra todas las gráficas y los datos (Vale)

Desventajas:

- Se necesita de una cámara con mucha resolución (Caro - Lina)
- Es muy difícil cuadrar cada punto por el que pasa el chorro o el balín (Vale)

4. Capítulo

Análisis categorial

A partir de los instrumentos aplicados y consecuentemente con la Tabla 2 en la que se describieron los indicios de cada categoría, se analizan cada una de estas de acuerdo con la clasificación a priori: disciplinar, sociocultural y epistemológica. Así también se menciona en cada uno de los numerales, los instrumentos aplicados durante las cuatro fases del ciclo didáctico, incluyendo la aplicación de una entrevista focal para cotejar las exigencias disciplinares con los conocimientos de los participantes. Durante el presente análisis se triangularon los resultados de todos los instrumentos incluyendo la entrevista final.

4.1. Análisis de la categoría disciplinar

Durante la fase de actividades dirigidas a la introducción de contenidos, los participantes revisaron las motivaciones históricas que dieron lugar a la teoría galileana sobre la caída de graves. Este antecedente tuvo una intención clara al comparar más tarde, la caída libre con el movimiento parabólico y semiparabólico en las actividades experimentales. Tradicionalmente se ha insistido en impartir los contenidos de las disciplinas en un orden ajeno a la génesis de los conceptos, pero afirmar por ejemplo, que se puede comprender la cinemática aislada de la dinámica es en muchos casos un despropósito.

Las respuestas dadas por los participantes en el cuestionario de concepciones alternativas contrastadas con la de la práctica mediante el asistente virtual, posibilitó indagar mejor que las demás actividades en lo referente a la subcategoría de continuidad, aunque al final, se aplicó una entrevista focal para

comprobar con mayor certeza, los ámbitos en que los participantes le dieron un carácter continuo o discreto del espacio y del tiempo.

Frente a la subcategoría de continuidad, se indagó por la capacidad de los participantes en relacionar el cuestionario de concepciones alternativas con la actividad de exploración. Al respecto, se encontró que los modelos explicativos que utilizan, da cuenta de una visión caracterizada por una barrera entre lo real y lo potencial, donde el espacio si bien conserva un carácter continuo, se ve separado del tiempo evidenciando así una incapacidad en algunos participantes para establecer razones de cambio entre dos magnitudes de naturaleza diferente. Veamos lo que contestaron en a la pregunta 11 de la entrevista focal (Anexo D):

P11:

Caro: Son muy parecidos
Lisa: Que tanto Aquiles como el niño, hacen el doble de la trayectoria que el padre y la tortuga… los dos [recorridos] eran lineales
Leo: Que la velocidad era constante en ambos
Caro: El recorrido era el mismo, la velocidad variaba
Leo: Pues, era constante, de cada personaje…pero si fuera en la vida real, Aquiles hubiera alcanzado a la tortuga
Caro: Ahí es donde uno se contradice, una cosa es ver un papel y otra verlo desde el punto de vista de la vida real
Lina: Si la tortuga va a 2 km/h y Aquiles va a 5 [km/h] obvio lo va a alcanzar
Leo: No es tanto eso Lina, vos como vas a decir que ve, voy a 4, ¡ah! Pero es que yo voy a 3,9 km/h, ve pero es que yo ya voy a 4,5; uno ahí ya no mide la velocidad. Por ejemplo, yo cuando estoy trotando en la caminadora yo me doy cuenta y digo; bueno, voy a mantener esta velocidad y yo veo la cosa que mide la velocidad y eso hace así [hace gesto de que sube y baja], eso es demasiado relativo con la realidad. Entonces ahí, mucha gente tomaba la información del papel entonces decían: eso es así y ya y solamente es como el papel, y yo decía no; hay que tomar el factor realidad, hay que decir: - si vos vas a 4 km/h, no te vas a mantener con esa velocidad, obviamente vas a llegar a un punto que vos ves la tortuga y vos decís como… un poquito más y la alcanzo

Se observa una clara división entre la interpretación del infinito matemático como algo ideal, potencial y el infinito físico como algo del plano real, alcanzable e incluso superable. Estos modelos no están muy lejos de los que hace referencia Rendón R. (2011) posibilitando hallar un punto común entre las categorías definidas *a priori* y la visión aristotélica como alude este autor. La asociación con

eventos de su cotidianidad es importante al intentar abordar la uniformidad del movimiento, vemos como en este caso la premisa de la cual parten ambos problemas, esto es, asumir una velocidad constante, es difícil de asumir en el plano real lo que representa una oportunidad para hablar del concepto de velocidad instantánea.

Continuando con el carácter continuo del espacio, y relacionándolo propiamente sea con la velocidad; media o instantánea, así como su implicancia en la determinación del movimiento de un objeto o de un fluido, las respuestas dadas a las preguntas 12 y 13, hacen pensar que el concepto de masa puntual es inconveniente para el caso de los fluidos. Los mismos estudiantes reconocen las limitaciones del asistente virtual Tracker® debido a restricciones físicas y/o matemáticas:

P12:

Lisa: [El programa] no calculaba una velocidad media

- ¿Era más fácil o más difícil determinar la masa puntual en el balín o en el chorro? -

Lisa: Era más fácil con el balín

Caro: Con el balín era más fácil, porque el agua uno no sabía por dónde pasaba… el balín rebota

Lina: El balín uno sabía que era, se podía distinguir, en cambio el agua es algo que corre, es algo continuo

P13:

Leo: La velocidad media

Lisa: La velocidad media pero por ahí desde el instante 2 porque no tenemos dos datos, entonces puede que haya habido una aceleración que haya seguido constante después del instante 2

Obsérvese como a partir de los datos vistos en la tabla del asistente virtual, Lisa identifica el movimiento parabólico como una composición de movimientos donde verticalmente (caída libre), puede aproximarse a un movimiento uniformemente acelerado.

Al momento de contrastar las gráficas hechas en el instrumento de concepciones alternativas, los participantes interpretaron y cotejaron sus propias respuestas con las de los demás. En este aspecto, el concepto de función lineal creciente y

decreciente así como el de función cuadrática representada en la parábola, se mira independiente del tipo de variable que se ubique en los ejes, atendiendo a la forma de la curva más que a la relación matemática entre ellas (ver Tabla 5). Así quedó registrado en las respuestas de los estudiantes:

P14:

Caro: [La gráfica de velocidad media] de Lina porque si tiene aceleración, ella la hizo como una parábola, y todos la hicimos recta
Vale: Porque es MUA… en cambio Caro y yo la hicimos decreciente
- ¿Qué opinan de la gráfica que hizo Vale? -
Caro: Que se confundió con MUR
Leo: Yo pienso que la hizo como al revés… como si no tuviera aceleración
Caro: velocidad constante, pero como está bajando… entonces, se contradice
Lisa y Caro: se confundió con posición ¿no?
Vale: yo supuse que la pelotica tenía más velocidad aquí [muestra el punto más alto del plano inclinado]
- Fíjense que hay diferencia, Caro hace la gráfica continua, mientras que Vale la hace en escalas -
Lina: es que al final los puntos de Vale, si los unimos nos da la de Caro, lo único es que obviamente si uno pone la bolita en el punto más alto, empieza con velocidad cero y…
Caro: empieza a aumentar la velocidad… yo digo que nos confundimos por el dibujo
- ¿qué opinan si les digo que la gráfica de Caro es en el fondo la misma gráfica de Vale solo que las rayitas de Caro están muy cerca? ¿es válido?
Lisa: Si usted junta los puntos de Vale, le va a dar una recta igual
- Por ejemplo si Vale hace los intervalos más pequeños…
Caro: le va a dar una recta
Lisa: En el fondo es lo mismo
- O… simplemente van a ser escalitas muy juntas pero nunca se podrán unir…
Lina: Si fuera altica, pues, nunca se pueden unir porque igual hay una más grande… porque entonces tendría que haber una línea que se junte menos que la última… nunca van a quedar todas las escalas iguales

La elección que los estudiantes hacen entre un espacio discreto o continuo se resuelve una vez más ante la imposibilidad de pensar en el plano real sobre grados de velocidad uniformemente variados, esto es, no existe realmente una congruencia entre los segmentos que representan en el plano cartesiano la velocidad media. He aquí el peso de la visión continua o discreta en el problema de la velocidad: al nivel del meso-mundo pocas veces se piensa en continuo, por lo que a los estudiantes no están forzados a pensar en una velocidad instantánea (sin tocar el tema del límite en el infinito).

4.2. Análisis de la categoría sociocultural

La propuesta de intervención concluyó con la actividad experimental como una vivencia completamente nueva para ellos. Las respuestas a las cuestiones, nunca pretendieron indagar directamente por el significado que los jovenes le atribuyen a los términos discreto o continuo, pero fueron numerosas las situaciones donde los participantes se vieron avocados a aplicar una u otra concepción del espacio y del tiempo y más específicamente, implicados en el concepto de velocidad.

Para investigar las categorías sociales y culturales se recurrió al formato de entrevista grupal o focal con todos los informantes, esto posibilitó contrastar las respuestas de todos los anteriores instrumentos así como el despliegue de los roles, discusiones, fuentes y criterios de validez sobre los argumentos que exponían los demás participantes. La entrevista arrojó además el nivel con el que los informantes se enfrentaron a las actividades, la evolución conceptual y los ámbitos de aplicación de los modelos explicativos presentes en éstos.

Las primeras preguntas tenían la intención de que expresaran su opinión acerca de las actividades en términos del cómo se sintieron presentando las actividades. A esto respondieron:

P1**:** (Excelentes y Buenas)

Vale: Fueron didácticas, son grupales y otras individuales
Leo: …y esto permite que podamos sacar una opinión propia
Lisa: Se puede referenciar a los demás pero también a uno como individuo

P2: Lisa: Los temas me “encarretaron” mucho

Caro: La forma de trabajo, los ejercicios no eran lo típico, como el de Aquiles, ejercicios diferentes

Leo: Que había variedad de pensamiento, una persona podía decir una cosa correcta, pero otra persona decía otra cosa que también era correcta y luego podíamos elegir una que todos consideráramos, era la correcta

Vale:Los problemas escritos, porque uno también daba su opinión y escuchaba las otras y ahí cambiaba toda la respuesta de uno, entonces uno iba construyendo su propio concepto

Lina: A mí me gustó por ejemplo los que hicimos del chorrito de agua y el carro, que es algo que hicimos como en el plano real y eso nos demuestra que en verdad lo que hacemos escrito, los cálculos nos va a servir para algo en la vida […] que en verdad todo coincide

P3:
Caro: La verdad, uno también se confundía mucho, porque llegar por ejemplo con el tallercito [taller de conceptos previos], lo que tú decías, “lo que ustedes piensen” y nosotros caminábamos, lo imaginábamos, la verdad porque uno decía uy esto no me está quedando bien […] al principio confunde pero al final te das cuenta que podes decir un montón de cosas que no creías, muy bacano

Una posible lectura a partir de estas respuestas, es que las actividades rompieron con el modo tradicional de enseñar cinemática y evitaron que los estudiantes dieran el tipo de respuesta condicionada o aprobada sea por el maestro o por cualquier otra autoridad. En el modo como validaron sus conocimientos, se demostró una buena actitud para escuchar los puntos de vista ajenos y así construir el conocimiento en comunidad. Ninguno de los participantes dio un lugar a la experimentación como elemento de juicio para tomar decisiones, a pesar de que en los informes de laboratorio se demostró en todos los informantes un uso adecuado de la misma para dirimir la veracidad de sus conjeturas. Sin embargo, el asistente virtual representó una señal inequívoca de que algo en la práctica andaba mal, lo que les llevó a hacer ajustes en el modo como abordaron el experimento para lograr resultados mucho más dicientes.

4.3. Análisis de la categoría epistemológica

En este punto se debe partir de las subcategorías declaradas en la Tabla 2, toda vez que en la línea epistemológica sociocultural, tiene más relevancia lo metodológico y la relación del estudiante frente a la idea de ciencia que se forma, que el mismo cambio conceptual.

Conocimientos corrientes

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo, arrojaron ciertas relaciones que los participantes declararon antes de pasar por alguna instrucción o unidad didáctica. Dentro de las subcategorías (Tabla 2) nos referimos a estas relaciones como conocimientos corrientes, ya que un cambio en lo conceptual debe alejarse de atender exclusivamente a los conceptos. Si bien dentro de los objetivos del trabajo no se encuentra el de verificar una progresión, en cuanto estados superiores de argumentación o evolución conceptual como aprendizaje de términos o procedimientos declarativos más elevados, se alcanzaron niveles más altos en cuanto a habilidades metacognitivas mediante la implementación de recursos y estrategias del ciclo didáctico menos invasivas o impositivas que las tradicionales.

Los conocimientos corrientes de los cinco participantes, se caracterizaron por responder a ideales distintos a los de la ciencia, no solo por tratarse de una actividad enmarcada en un espacio escolar - lo que ya condiciona el problema - sino porque las características de la situación problema inicial así lo requerían. Además fue difícil hallar un cuerpo de conocimientos coherente que permitiera identificar un modelo. La matriz que se muestra a continuación, resume el tipo de relación hallado por cada uno de los participantes y el tipo de instrumento en el que se logró reflejar.

Subcategorías:

◊ Razón de cambio entre magnitudes de la misma naturaleza

Δ Razón de cambio entre magnitudes de distinta naturaleza

✦ Dominio de sistemas de referencia

◌ Reposo como estado de movimiento

○ Uniformidad de la velocidad

● Variabilidad de la velocidad

~ Infinito potencial

∞ Infinito actual

⌂ Uso de representación gráfica de la velocidad

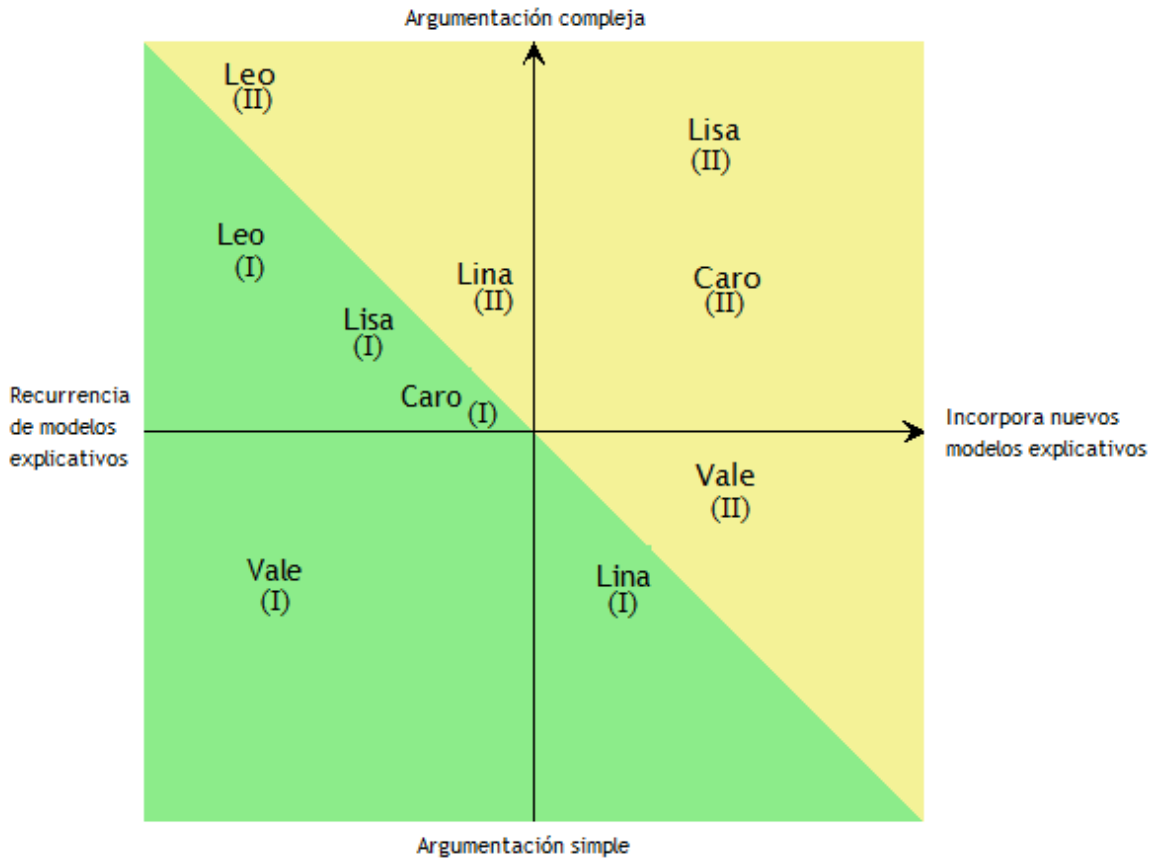
Tabla 6: Subcategorías examinadas en los participantes por cada instrumento del ciclo

Instrumento / **Participante**	Cuestionario concepciones alternativas	Práctica de laboratorios de planos inclinados	Práctica con asistente virtual Tracker	Entrevista grupal
Caro	~ ◌ ◊	Δ ● ✦	Δ ● ✦	⌂∞○
Vale	∞ Δ	Δ ○	Δ ● ✦	⌂∞○
Lisa	◌ ~ ●	● ✦	Δ ○ ✦	⌂∞○
Lina	∞ ○ Δ	Δ ● ✦	Δ ● ✦	∞○
Leo	~ ◊	Δ ○	Δ ● ✦	∞●

Luego del análisis categorial, vemos que algunos indicios aparecen en algunos instrumentos y no en otros, esto se da no solo por el enfoque del mismo sino por las relaciones y argumentos que los participantes van dando a medida que las respuestas son discutidas entre ellos. Se puede establecer a partir de aquí, un diagrama que nos ayude a visualizar las nuevas relaciones conceptuales de los estudiantes antes y después del ciclo didáctico en tres ejes fundamentales.

El primero en relación con las dinámicas de trabajo y la manera como las respuestas de cada uno, son condicionadas por la necesidad de presentar argumentos frente a una afirmación propia. En segundo lugar, el nivel de recurrencia de los modelos explicativos (o conocimientos corrientes) frente a nuevas situaciones o ámbitos de aplicación y por último, la diversidad de las representaciones frente a un mismo concepto como consecuencia de la intervención didáctica.

Figura 19: Evolución conceptual y metodológica de los participantes en los ejes; argumentativo, recurrencia de modelos explicativos y representacional. Se comparan los dos momentos: cuestionario de concepciones alternativas (I) y entrevista grupal (II).



Representación subjetiva de la velocidad

Representación objetiva de la velocidad

En la gráfica se puede ver como algunos de los participantes alcanzaron niveles más altos de argumentación, lo que no implica que dejen de recurrir a sus conocimientos corrientes, esto se da por la incorporación de terminología y descripciones mucho más detalladas pero envuelto en un tecnicismo descontextualizado donde la experiencia personal continua siendo un elemento de juicio importante. En general se observó un progreso en cuanto al carácter objetivo o funcional del concepto de velocidad en todos los participantes,

consecuencia de la incorporación de nuevas representaciones como diagramas cartesianos y experimentos mentales del tipo galileano si se le mira desde la caída de graves. Estos experimentos fueron discutidos en la entrevista de donde todos los informantes sin necesidad de llevarlo a cabo, quedaron convencidos del argumento de su compañera Lina.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las tensiones entre lo discreto y lo continuo implicaron diferentes concepciones entre los participantes quienes identifican el infinito matemático como un infinito potencial, mientras que el infinito físico, asociado a un infinito actual, permite resolver los problemas más paradójicos al entendimiento, pero que surgen como insumo para una posterior definición formal o diferencial del concepto de velocidad, característica propia del movimiento

En el caso observado, solo quienes alcanzaron la visión continuista del espacio pudieron hablar de una velocidad límite de la velocidad media identificando así las diferencias cualitativas y no solo cuantitativas entre velocidad instantánea y velocidad media

Uno de los rasgos más relevantes de la ecología intelectual escolar de los participantes, fue el valor para reconocer las cualidades y debilidades del propio temperamento, y cómo éste condiciona las dinámicas de trabajo grupal y aún el modo como se asumen implícita o explícitamente criterios de validación del conocimiento

Aplicar la definición de movimiento a sistemas continuos como por ejemplo, el fluir del agua, exige replantear el alcance del concepto de masa puntual. Dicha reflexión fue posible gracias al rastreo que se hizo sobre el concepto de

movimiento en el Medioevo y que pocas veces se cuestiona en la enseñanza de la cinemática

Desde el rastreo histórico – epistemológico, las exigencias disciplinares que se identificaron, revelaron las categorías que de una u otra forma, son más claras en los datos recogidos producto de las actividades aplicadas. Desafortunadamente, éste es insuficiente para sondear las demás categorías que conforman la ecología intelectual de nuestros escolares y difícilmente extensible al modo como los científicos y estudiantes construyen conocimiento, no solo porque los ideales explicativos de los estudiantes se diferencian de los de los científicos, sino porque el mecanismo mediante el cual ciertos programas son abandonados en la comunidad científica por otros más universales, no funciona del mismo modo para los escolares quienes pueden conservar los conocimientos corrientes junto con nuevos modelos producto de la educación escolarizada

5.2. Recomendaciones

Al abordar el problema del movimiento en la enseñanza, es necesario elaborar actividades que den cuenta de los modelos explicativos de los estudiantes, especialmente cuando se asume en el estudiante una visión continua del tiempo y del espacio. Actualmente se requiere no solo explorar la posibilidad de hablar de cambios graduales en el aprendizaje del concepto de velocidad en particular, sino que debe orientar la reflexión en que no solo se aprenden conceptos (por lo que los cambios no se dan únicamente a este nivel), también se adquieren aprendizajes procedimentales y formativos sobre los cuales se ha puesto poca atención.

A. Anexo: Perfil motivacional

ACTIVIDAD Nº 4

Perfil Motivacional

Nombre: _____ **Grado:** _____ **Fecha:** _____

Área: Ciencias Naturales **Asignatura:** Física

A continuación se describen cuatro personajes que pueden representar a diferentes estudiantes que hay en el colegio. Lea primero la descripción de los cuatro y seleccione después con una X el personaje con el que mejor se identifique.

A. A Sara le gusta que ser reconocida por sus logros, además posee siempre una manera de ser que se nota su presencia en cualquier grupo. Sara es vivaz pero sensible al mismo tiempo, ella se describe a sí misma como una persona extrovertida por lo que evita estar sola y prefiere estar siempre bien acompañada. Ante sus compañeras se ve como una persona muy segura aunque toma decisiones casi siempre más basadas en la emoción que en la reflexión. En clase, prefiere las prácticas de laboratorio que los talleres individuales ya que implica hacer mediciones y experimentar cosa que le es muy emocionante. Un rasgo propio de Sara es su desorden.

B. A Sergio prefiere ser independiente, las tareas que se propone las hace con gran agilidad y presteza lo que no le impide ser reflexivo y analítico y eso hace que tenga gusto por las ciencias exactas y naturales. Sergio es insistente y no se rinde fácilmente ante los obstáculos. Sus compañeros conocen bien sus fortalezas pero en ocasiones también le reclaman por ser sarcástico e insensible ya los problemas de los demás se muestra en el mejor de los casos, indiferente. Le cuesta concentrarse en clase por lo que las asignaturas del colegio las estudia en gran medida por su cuenta pero cuando participa en clase, hace preguntas que demuestran una curiosidad por la naturaleza.

C. Carolina se identifica como una joven con una gran sensibilidad. Usualmente es introvertida y prefiere las áreas o trabajos relacionados con las artes. Es de la opinión que las ciencias naturales no le aportarán mucho en su desempeño profesional, por lo que hace las cosas por cumplir. Sus demás compañeros reconocen no obstante en Carolina una persona sumamente inteligente, incluso por

encima de los compañeros con mejores notas del grupo. Si bien no se acerca a sus compañeros, es amable con quien se le acerca y muy leal con los pocos amigos que tiene. Claro que no todo es color de rosa y cambia de ánimo sin motivo aparente hacia extremos, además rara vez emprende una tarea por sí misma y en ocasiones puede vérsele como una persona muy rencorosa e intransigente.

D. La serenidad de Marcos ante cualquier situación es sorprendente, pareciera que nada lo perturba. No le interesa liderar proyectos grupales así que en los laboratorios prefiere esperar a que le digan qué hacer y tomar datos pero no hacer el montaje, eso es lo que más le aburre de las prácticas en ciencias y prefiere charlar con sus amigos ya que tiene buen sentido del humor. A Marcos no le atrae con facilidad algún campo en particular pero cuando lo atrapa alguno, es difícil que pierda el interés. Marcos tiene una memoria increíble pero es lento y perezoso no le gustan los talleres de más de 4 ejercicios y tiene un gusto visible por el dinero.

De las cuatro representaciones anteriores seleccione con cuál está más de acuerdo y más en desacuerdo:

Estoy muy de acuerdo con: _____

Porque:_____

_____

_____

_____

Estoy muy en desacuerdo con: _____

Porque:_____

_____

_____

_____

Realice su propia descripción tomando como referencia las que se presentaron anteriormente:

_____

_____

_____

B. Anexo: Concepciones Alternativas

ACTIVIDAD Nº 1

Cuestionario de concepciones alternativas

Nombre: _____ **Grado:** _____ **Fecha:** _____

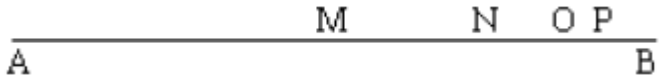
Área: Ciencias Naturales **Asignatura:** Física

Tipo de guía: Cuestionario **Docente:** Juan Camilo Grajales

Objetivo: Rastrear los conceptos de los estudiantes alrededor de la continuidad del tiempo y del espacio aplicados al concepto de velocidad

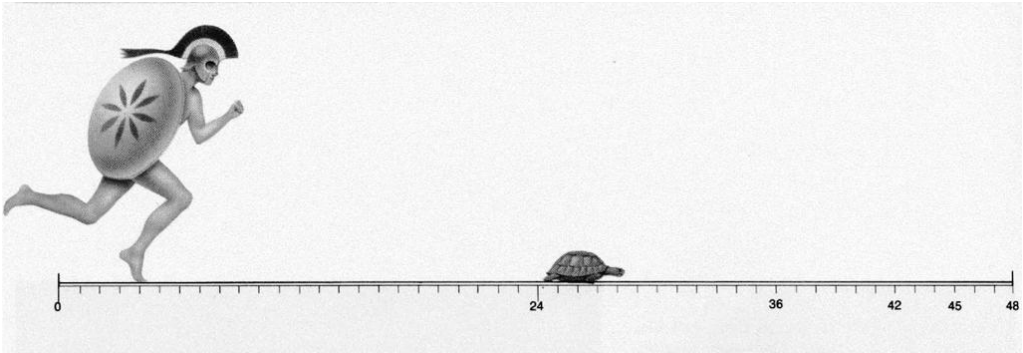
Instrucción: Contestar las preguntas por escrito analizando cada situación, las preguntas son de carácter abierto, tenga en cuenta que puede responder a la luz de sus propios conocimientos sin ceñirse a lo estipulado desde la ciencia formal.

1. Observa la siguiente figura. Nos muestra un esquema en el que se biseca cada vez el segmento de la derecha, es decir los puntos M, N, O, P, son los puntos medios de los segmentos AB, MB NB y OB respectivamente.



Si se siguen haciendo más y más bisecciones, ¿crees que es posible llegar a una situación en la que un punto de la bisección coincide con el punto B?[10] Explica tu respuesta.

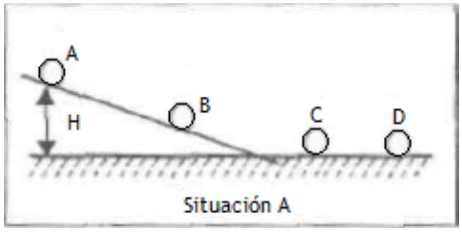
2. Paradoja de Aquiles y la Tortuga. Probablemente es la más conocida: Se trata de una carrera entre Aquiles (el más veloz de los héroes clásicos) y la tortuga (uno de los animales más lentos). Aquiles da una cierta ventaja a la tortuga, pero entonces ¡resulta que nunca la puede alcanzar! En efecto, cuando Aquiles llegue, al cabo del tiempo t0, a la posición inicial T0 que ocupaba la tortuga, ésta se encontrará en una posición posterior T1; cuando Aquiles alcance la posición T1 habrá transcurrido un tiempo t1 y la tortuga se encontrará en otra posición posterior T2,, etc. sin que Aquiles llegue jamás a alcanzar a la tortuga. ¿Realmente será imposible que Aquiles alcance a la tortuga?

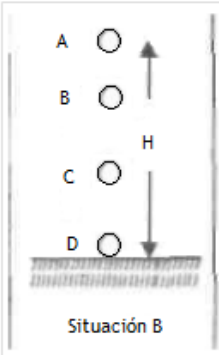


3. Considere las siguientes dos situaciones:

A. Un cuerpo se deja caer desde la parte superior A de un plano inclinado de altura H, hasta que alcanza una su perficie horizontal muy lisa.
B. Desde un punto A ubicado a una altura H del piso se deja caer un cuerpo.

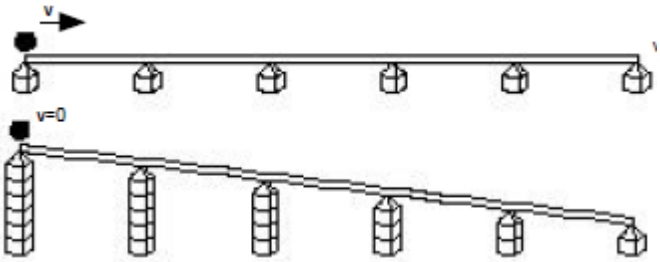
[10] Tomado de: Garbín, Sabrina. (2005). "¿Cómo piensan los alumnos entre 16 y 20 años el infinito? La influencia de los modelos, las representaciones y los lenguajes matemáticos". En: Relime Vol. 8 Nº 2, Julio 2005. Pág. 179.





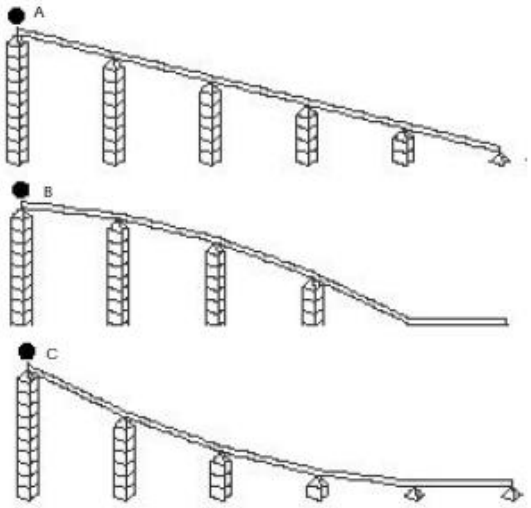
Si se representa el tiempo transcurrido para cada uno de estos movimientos por un segmento horizontal, identifique en cada segmento los momentos correspondientes a la posición A, B, C y D para cada situación. Ubique en cada uno de ellos los segmentos con los que se representarían los valores de los grados de rapidez para cada caso[11].

4. Dibujar la gráfica v-t de los dos movimientos y comentar la relación entre la velocidad media y la instantánea.



5. Comparar las velocidades medias e instantáneas en los siguientes casos; estos tres movimientos tienen en común la altura desde que cae la bola, así como la distancia recorrida por esta.

[11] Tomado de: Ángel, R. Romero A. (2003). "La formalización de los conceptos físicos. El caso de la velocidad instantánea" En: Revista Educación y Pedagogía Vol XV No. 35. Pág. 64.


A
B
C

C. Anexo: Guía de laboratorio

ACTIVIDAD Nº 3

VACIADO DE TANQUES Y TIRO PARABÓLICO

Nombre: _____ **Grado:** _____ **Fecha:** _____

Área: Ciencias Naturales **Asignatura:** Física

Tipo de guía: Laboratorio **Docente:** Juan Camilo Grajales

Objetivo: Se propone a través de la siguiente práctica realizar mediciones sobre el alcance y la velocidad de salida de un chorro de agua a diferentes alturas de un tanque. Dichos resultados serán comparados con el movimiento de algunas esferas que se lanzan desde un cañón en un movimiento parabólico.

Indicadores de desempeño:

- Analizar las relaciones entre posición, velocidad y aceleración de los cuerpos que describen diferentes movimientos con respecto a diversos sistemas de referencia
- Describir gráficas de x vs t y v vs t
- Resolver problemas de móviles que están sometidos simultáneamente a un M. U. R. y a un M. U. A.

Instrucción: De acuerdo al siguiente dispositivo, realice de manera rigurosa las mediciones del alcance máximo y el tiempo de vuelo que le permitan analizar las diferencias entre los materiales o sustancias que se someten al movimiento parabólico. En esta experiencia utilizaremos el programa TRACKER® que le permitirá analizar con mayor precisión el video que graben del experimento.

I. Sobre una superficie horizontal, ubique el cañón con una inclinación exactamente de 45º y lance la esfera con el mismo impulso siempre; a su vez, grabe con la cámara desde que sale el balín hasta llegar al alcance máximo horizontal, asegúrese de que la cámara enfoque una regla puesta en el mismo plano en el que se mueve la esfera, esta servirá más adelante en Tracker® para determinar la barra de calibración.

II. A un contenedor cilíndrico realice un pequeño orificio a unos cuantos centímetros de la base, mida el área transversal del contenedor y del orificio, y llene con agua el contenedor para iniciar la grabación del video. Tenga presente que la cámara enfoque una regla que sirva de patrón de medida, además el agujero deberá hacerse de tal modo que esté entre la base del cilindro y la superficie del agua

Pasos para la obtención de datos:

1. Selecciona IMPORTAR VIDEO en TRACKER® a través de la opción IMPORTAR/VIDEO
2. Defina los cortes del video indicando el intervalo de tiempo en el que se realizará el estudio. Para ello puede dar clic derecho sobre el video y definir a través de AJUSTES DEL CORTE el primer y último cuadro así como el número de cuadros que desee que avance. También lo puede hacer en la BARRA DE REPRODUCCIÓN del video.
3. En seguida selecciona el botón de MOSTRAR/OCULTAR EL EJE DE COORDENADAS para ubicar el sistema de referencias y colócalo en el punto donde el objeto inicia el movimiento.
4. Con el botón de calibración de la distancia, Señalar la referencia métrica, es importante este punto para que puedan medirse las distancias adecuadamente. Para ubicar los puntos, basta con arrastres los extremos de la VARA DE CALIBRACION a la referencia de medida que hayas seleccionado, como un metro. Da doble click en la leyenda de la vara de calibración para insertar la medida de referencia.
5. En este punto nos interesa medir el tiempo, la altura máxima de la esfera, el alcance máximo tanto de la esfera como del chorro de agua, las velocidades instantánea y media en cada paso y la aceleración por lo que deberemos seleccionar CREAR/OBJETO MASA para graficar estas magnitudes y cómo cambian respecto al tiempo.

Análisis de resultados

1. Inserta las graficas obtenidas del software de video análisis de cada caso exportando para cada uno la imagen de la posición vertical, horizontal y velocidad vertical y horizontal de la esfera, y del chorro de agua conforme desciende el nivel.
2. A la luz de los datos obtenidos, discuta y responda entre los integrantes del equipo:
    a) ¿Por qué para el primer instante el programa no muestra valor alguno de velocidad?
    b) ¿Por qué para el segundo instante el programa no muestra valor alguno de aceleración?
    c) ¿A qué valore tiende la aceleración vertical en cada instante para la esfera?

d) Si pudiéramos obtener un video con una resolución mejor ¿cuál sería el valor de la velocidad para la esfera en su punto más alto?
e) ¿Qué coincidencias y qué diferencias encontraron entre los dos experimentos?

3. Explique el tipo de modelo matemático que tiene cada grafico (constante, lineal, cuadrático, exponencial, etc.) para el alcance horizontal del chorro de agua y para el de la esfera.

4. Exprese qué ventajas y desventajas del software encontraron para el análisis del cada experiencia.

***Sagredo**:*

No sólo esta opinión vuestra, sino muchas otras son tan ajenas a las doctrinas y pareceres comúnmente admitidos, que, si las publicaseis, os acarrearíais gran número de adversarios; porque la naturaleza humana es de tal suerte, que los hombres no miran con buenos ojos los descubrimientos, verdaderos o falsos, que se hacen en su propio terreno, cuando los hacen otros distintos de ellos. Tachan al tal de novador en achaque de doctrina, título poco grato, mediante el cual esperan cortar el nudo que no pueden desatar; y se empeñan en destruir con minas subterráneas los edificios que alarifes pacienzudos han construido con las herramientas acostumbradas. Mas, para nosotros, que no tenemos pensamiento de ese jaez, son del todo satisfactorios los experimentos y argumentos que hasta ahora habéis presentado.

Galileo Galilei: “Diálogos acerca de dos nuevas ciencias”

D. Anexo: Guía de entrevista

ACTIVIDAD Nº 5

GUÍA PARA ENTREVISTA

Nombre: _____Grado: _____ Fecha: _____

Área: Ciencias Naturales **Asignatura:** Física

Tipo de guía: Entrevista Focal **Docente:** Juan Camilo Grajales

Objetivo: Esta encuesta se aplica con el fin de recolectar información, sobre los aprendizajes y sentires durante el desarrollo del ciclo didáctico para la enseñanza del concepto de movimiento. Se resalta que esta encuesta no permite en ningún momento ser un indicador o medir los conocimientos adquiridos durante el ciclo. Sino que servirá como un referente de análisis y de reflexión para generar mejoras sobre el aprendizaje y enseñanza del módulo de cinemática. Se espera que reflejes tus opiniones, pensamientos y experiencias abiertamente sin ningún temor a ser reprochado.

I. Aspecto actitudinal

1. ¿Cómo les parecieron las actividades diseñadas para esta unidad?

Excelentes___ Buenas__ Regulares___ malas__ Justifique

2. ¿Qué fue lo que más les gustó de esta Unidad?

3. ¿Cuáles fueron sus sentires durante el desarrollo de la Unidad?

4. Aumentó o disminuyó con la implementación de esta unidad didáctica, frente a tu interés por el aprendizaje de la física se puede afirmar que:

Aumento____ Se mantuvo estable____ Disminuyó _____

¿Por qué?

5. ¿Cuál fue su compromiso y nivel de responsabilidad? Alto___ Medio____ Bajo____ Ninguno____

¿Crees que diste lo mejor de ti mismo o te falto algo? ¿Por qué?

_____

_____

6. Creen que aprendieron más con el desarrollo de las actividades planteadas en relación al concepto de movimiento, que con las otras formas como te han enseñado cinemática a lo largo de tu proceso de aprendizaje Si___ No____ Igual____

¿Por qué?_____

7. ¿Consideran que el desempeño de cada uno fue mejor durante la aplicación de las actividades individuales o grupales?

8. ¿Consideran que el desempeño de cada uno fue mejor durante la aplicación de las actividades teóricas o prácticas?

9. Describa brevemente los aprendizajes que obtuvo con la solución de la unidad didáctica.

_____

_____

10. En escala de 0 a 5 valore la importancia del conocimiento adquirido

1__ 2___ 3___ 4___ 5____

II. Aspecto disciplinar

11. ¿Qué coincidencias ven entre el problema del padre, el niño y la madre, y la paradoja de Aquiles y la Tortuga?

12. El programa que se utilizó para modelar el movimiento del balín y del chorro de agua, utiliza el concepto de masa puntual. ¿Qué limitaciones vieron en el proceso de modelación?

13. Los valores que muestra el programa en la ventana de datos, ¿corresponden a la velocidad media del balín o a la velocidad en ese instante? ¿Por qué?

14. Comparando las gráficas de los compañeros, ¿qué diferencias encuentran y cuál de ellas representa mejor la velocidad media?

15. ¿Qué cambios harían en la respuesta del punto 3 del taller de diagnóstico después de la discusión?

Bibliografía

- Alonso Sánchez Manuel F. (profesor), Aracil, Ana Isabel, Martínez, Asier, Ortega, María y Rodríguez, Antonio (alumnos de bachillerato). (2011). Demostraciones experimentales sobre la caída libre Revista Alambique: Didáctica de las ciencias Nº 69 Julio 2011, Pág. 99-112

- Álvarez, Carlos (compilador). (2002). “La continuidad en las ciencias”. Fondo de Cultura Económica. México.

- Azcárate G., C. (1984). “La nueva ciencia del movimiento de Galileo: una génesis difícil”. En: Enseñanza de las ciencias. Vol. 2, Nº 3

- Clouder, Christopher y Rawson, Martyn. “Educación Waldorf: Ideas de Rudolf Steiner en la práctica”. Ed. Rudolf Steiner S.A. Traducido por: Blanca Sánchez, 2002. Madrid, España.

- Delgado G., César Augusto. (2003). El modelo de Toulmin y la evolución del concepto de continuo en los clásicos griegos. Matemáticas: Enseñanza Universitaria, diciembre, 91-127.

- Díaz Solórzano L. y González Díaz L. (2010). “Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en física”. En: Revista Mexicana de Física. E 56 (2). Diciembre.

- Garbín, Sabrina. (2005). “¿Cómo piensan los alumnos entre 16 y 20 años el infinito? La influencia de los modelos, las representaciones y los lenguajes matemáticos”. En: Relime Vol. 8 Nº 2, Julio 2005.

- Jiménez G. y Jiménez R. (2012). “Los conceptos de movimiento y velocidad en los escolásticos”. En: Alambique Nº 71, Abril. Barcelona, España.
- Martinez, José Rafael. (1997). “El infinito y la geometría del movimiento según Oresme”. En: El problema del infinito: filosofía y matemáticas. Benitez, Laura y Robles, José A. (compiladores). México UNAM.
- Martínez, José Rafael. (2002) “Razones y proporciones: un código medieval del movimiento”. En: La continuidad en las ciencias. Álvarez, Carlos (compilador). Fondo de Cultura Económica. México.
- Ministerio de Educación Nacional. (1998), Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación ambiental. Bogotá:
- Pozo, Juan Ignacio. (2007). Ni cambio ni conceptual, la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional. En *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de las ciencias*. , Pozo, J., I y Flores, F. (editores), Antonio Machado Libros, Madrid: OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá.
- Quiceno Serna, Yesenia y Vélez Pérez, Alejandra. (2011). Argumentaciones sobre “la vida”: carácter interdisciplinario de los asuntos socio-científicos como espacio para la formación en ciudadanía y civilidad. En: Red Iberoamericana de Pedagogía Boletín Virtual REDIPE No 802, Diciembre.
- Rendón R. Rodrigo. (2011). “La comprensión del concepto de continuidad en el marco de la teoría de Pirie y Kieren”. Trabajo de investigación de Maestría en Educación. UdeA, Medellín-Ant.
- Romero A. (2003). “La formalización de los conceptos físicos. El caso de la velocidad instantánea” En: Revista Educación y Pedagogía Vol XV No. 35.

Pág. 57-67

- Salazar, Ledys Llasmin. (2011). Fases de aprendizaje en el contexto de van Hiele para el concepto de Continuidad Local Informe final. Proyecto de grado para optar al título de Magister en Educación, con énfasis en Educación Matemática. Facultad de Educación. Universidad de Antioquia.
- Stake, Robert. (2007). “Investigación con estudio de casos”. Ediciones Morata. Madrid, España.
- Strike, K.A. & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In Duschl, R. & Hamiltonn, R. (Eds.) Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice, Albany, N.Y., State University of New York Press, pp. 147-176.
- Tamayo A., Oscar. (2009). “Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias”. Ed. Universidad de Caldas. Manizales.
- Toulmin, Stephen. (1977). La Comprensión Humana: El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid, Alianza.
- Vygotski, L.S. (1995). *Obras escogidas*. Tomo 3. Editorial: VISOR/ANTONIO M