



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

Juan C. Grajales

### ARTICLE INFO

**Recibido:** 15 de setembro de 2015

**Aceptado:** 15 de outubro de 2015

**Palabras clave:**

Cambio conceptual.  
Ciclo didáctico.  
Velocidad.

**E-mail:**

jucam85@gmail.com.

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### 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 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 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 a 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.

¿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.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Desde un análisis histórico-epistemológico se ha visto una tensión entre dos corrientes a veces opuestas para explicar uno u otro fenómeno, estas han servido de marco a dichas elaboraciones constituyéndose en paradigmas presentes en diversos problemas de la Física, se trata de 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 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 el de aceleración pero también está directamente ligado al de energía cinética, sin contar con el hecho histórico del problema de la velocidad instantánea como una de las motivaciones 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 riesgosas analogías entre los obstáculos epistemológicos y los problemas de aprendizaje, pero que considere pertinente abarcar otras características del concepto aún no vistas y que pueden servir de objetos interdisciplinarios.

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 (McDermott, L. C. y Trowbridge, D. E., 1980, citados por Guidugli, S., Fernández Gauna, C. y Benegas, J., 2004). 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 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 (MEN, 2004) que consiste precisamente en incluir lo común a ambas ciencias; las sociales y las naturales, 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, debido su carácter histórico y epistemológico. Todo esto visto 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 expone 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 planteara como objetivo central, diseñar y aplicar una propuesta didáctica de intervención, que posibilite

ver las relaciones entre la visión continuista o discreta analizadas sobre un grupo de estudiantes de grado 10° en un colegio con pedagogía Waldorf y específicamente en las implicaciones que dicha visión presenta frente al concepto de velocidad instantánea.

Para lograr dicho objetivo se rastrearon 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 enfrenen 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

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 tanto la dimensión epistemológica como sicosocial, 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 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 se enmarca en las revisiones que se han hecho a la teoría de cambio conceptual de Gil y Carrascosa, (1985) y Pozo (1999) otros desde una perspectiva *organicista* que comprende además el cambio metodológico. Esto implica en primer lugar, hacer un rastreo a nivel disciplinar de las exigencias que demandó en la historia de la Física específicamente el concepto de velocidad instantánea, hasta la actualidad superando cada obstáculo epistemológico, pero no para homologar los modelos de cada época con los aplicados implícitamente por los estudiantes, sino para incluir los desafíos precedentes a la aparición del concepto en el contenido que actualmente se imparte sin mucha reflexión.

Seguidamente se indagó acerca de las concepciones de movimiento de un grupo de estudiantes de 10°, a través de un instrumento de diagnóstico para finalmente realizar una intervención utilizando la metodología de Ciclos Didácticos de Neus Sanmartí y Jerome Jorba que cubre los procesos históricos que desarrollaron el concepto de velocidad instantánea pasando por 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, sino evidenciar los diferentes sistemas de conocimientos de los individuos alrededor de este concepto así como los dominios en que son aplicables dichos sistemas.

## II. HACIA UNA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL DEL CAMBIO CONCEPTUAL

Los cuestionamientos a la teoría de cambio conceptual (Gil & Carrascosa, 1985; Marin, 1999 & Oliva, 1999, Pozo, 1999 y Moreira & Greca, 2003) han desencadenado nuevas líneas de acción en cuanto a propuestas de instrucción basadas en este enfoque. Cada uno desde las revisiones hechas al modelo de cambio conceptual, inicialmente por los mismos gestores; Strike & Posner (1992) otras por Kelly, G. & Green, J. (1998) y, han insistido en la necesidad de abandonar la idea de que el cambio conceptual es suficiente para comprender los modelos que la ciencia elabora para explicar los fenómenos naturales. En resumen, se requiere una interpretación del cambio conceptual más holística, que incluya el aspecto sociocultural y que se enfoque como afirma Pozo (1999), en una enseñanza basada en *modelos* que le permita al estudiante argumentar, contrastar y *redescribir* los procesos y conceptos de la ciencia a la luz de sus propios modelos mentales.

Si nos referimos a los conceptos como aquellos constructos que elaboramos los seres humanos basados en la detección de regularidades (Pozo, 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 a través de procesos de instrucción sobre determinadas operaciones que los individuos, aplicamos pero no siempre 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 del sujeto un aprendizaje argumentativo desde el lenguaje, la racionalidad contingente y la argumentación sustantiva (Henaó, B. & Stipcich, S., 2008). 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, basado en uno de los aportes más sobresalientes de la epistemología de las ciencias al concepto de evolución, se trata precisamente de su carácter recurrente.

En el presente trabajo, se retoman 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” (Pozo, J. I., 2007, pág. 15). Estos cambios de representación van ligados también a cambios metodológicos, al decir de Gil y Carrascosa, y abarca todo lo que conceptualmente no se explica tan solo desde los significantes, sino que implica una actitud diferente frente a los procesos, hace que la práctica sea resignificada previo ejercicio metacognitivo sobre el qué observar para poder juzgar las predicciones de los mismos aprendices, dando un valor significativo a uno de los tipos de experimentación más importantes en la elaboración teórica; el experimento mental.

Una visión integradora del *cambio conceptual instruccional* debe partir de un principio básico, así como en la ciencia un determinado programa no se sustituye por otro no más por la imposibilidad de explicar cierto fenómeno, sino que pueden sufrir pequeñas modificaciones que a manera de hipótesis *ad hoc*, conservan la estructura del mismo; los procesos de enseñanza-aprendizaje pueden dejar inalteradas las teorías intuitivas del aprendiz cuyas concepciones alternativas se guían como afirma Pozo, de acuerdo a una función pragmática más que epistémica (2007, p. 14).

### III. METODOLOGÍA

El presente estudio se hizo bajo el paradigma de investigación cualitativa con la metodología de estudio intrínseco de caso (Stake, R. 2007). 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 la civilidad en un sentido más amplio. El caso se eligió bajo parámetros que atienden más a las actitudes frente a la ciencia y en ningún caso corresponde a criterios de rendimiento académico. La base para inclinarse por el componente afectivo tienen su raíz en el rastreo de la ecología intelectual escolar de Kelly & Green que hace peculiar el contexto de los estudiantes, pero también en los planteamientos de Pintrich (1993, 1999, 2006), quien advierte sobre la necesidad de tener en cuenta los elementos motivacional en el cambio conceptual (Pintrich, Paul 2006 citado por Aguilera, Soledad *et al.*, 2011). Para la intervención, se siguió la metodología de ciclos didácticos como se introdujo en los anteriores párrafos y para el análisis de los datos se definieron los temas con sus respectivos descriptores. Dichos temas se desglosaron en categorías que luego fueron contrastados en los resultados producto de la aplicación de los instrumentos.

### **III.1 Categorías y subcategorías**

Se definieron 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 dio cuenta de 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 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. En la siguiente tabla se presenta un resumen donde se reúnen los temas y categorías pertenecientes a los tres conjuntos, de utilidad para el análisis de resultados.

**TABLA I.** Categorías *a priori* desde una visión organicista del cambio conceptual sobre el problema del continuo.

Categorías	Subcategorías	Indicios
Disciplinar	Relatividad del movimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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.</li> </ul>
	Continuidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
	Variable de estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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</li> </ul>
Sociocultural	Dinámicas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Roles: Liderazgo, competitividad, contradictores, pragmatismo y distribución de cargas.</li> <li>Discusiones: Mediadores, impositores y normas de comunicación</li> </ul>
	Ecología intelectual escolar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acuerdos: Aquellos enunciados explícitos a los que el grupo accede y que regula no solo la comunicación sino sus comportamientos</li> <li>Fuentes de información: El conocimiento que expresan tiene un referente en la academia, en los medios masivos de comunicación o en medios escritos</li> <li>Validez experimental: El peso que tiene para los participantes la experimentación, frente a sus concepciones alternativas</li> </ul>
	Habilidades metacognitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autocrítica: Capacidad de los participantes de reconocer sus limitaciones. Resiliencia de los jóvenes</li> <li>Motivación: Carácter intrínseco</li> <li>Monitoreo: Capacidad para evaluar la distancia entre el punto donde se encuentra el proceso respecto a los resultados esperados y el objetivo inicial</li> </ul>
Epistemológica	Conocimientos corrientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ideales explicativos de la ciencia: Problemas que inspiraron históricamente a los científicos dando origen los conceptos físicos</li> </ul>
	Evolución conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recurrencia de las teorías: Casos en los que las teorías apelan a elementos de otros paradigmas para explicar el universo. Ejemplo: Atomismo- Mecánica Cuántica</li> </ul>
	Cambio metodológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ámbitos de aplicación: Problemas de movimiento de cuerpos rígidos y movimiento de fluidos</li> <li>Plano Representaciones de los conceptos: Diagramas de velocidad contra tiempo, función lineal, función cuadrática y función escalón (dominio del plano cartesiano)</li> </ul>

## III.2 El ciclo didáctico

### III.2.1 Definir una 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 clase de Física 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 hizo la misma pregunta en un caso particular:

¿Podemos percibir el movimiento de rotación terrestre?

Así los jóvenes 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 argumentada. 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 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.

### III.2.2 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 (2011) 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.

### III.2.3 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. Esta condición influye necesariamente en la evolución conceptual del aprendiz, si bien como afirma Pintrich (1999), [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* (citado por Tamayo 2009, p. 174).

### III.2.4 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 balón 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 1).

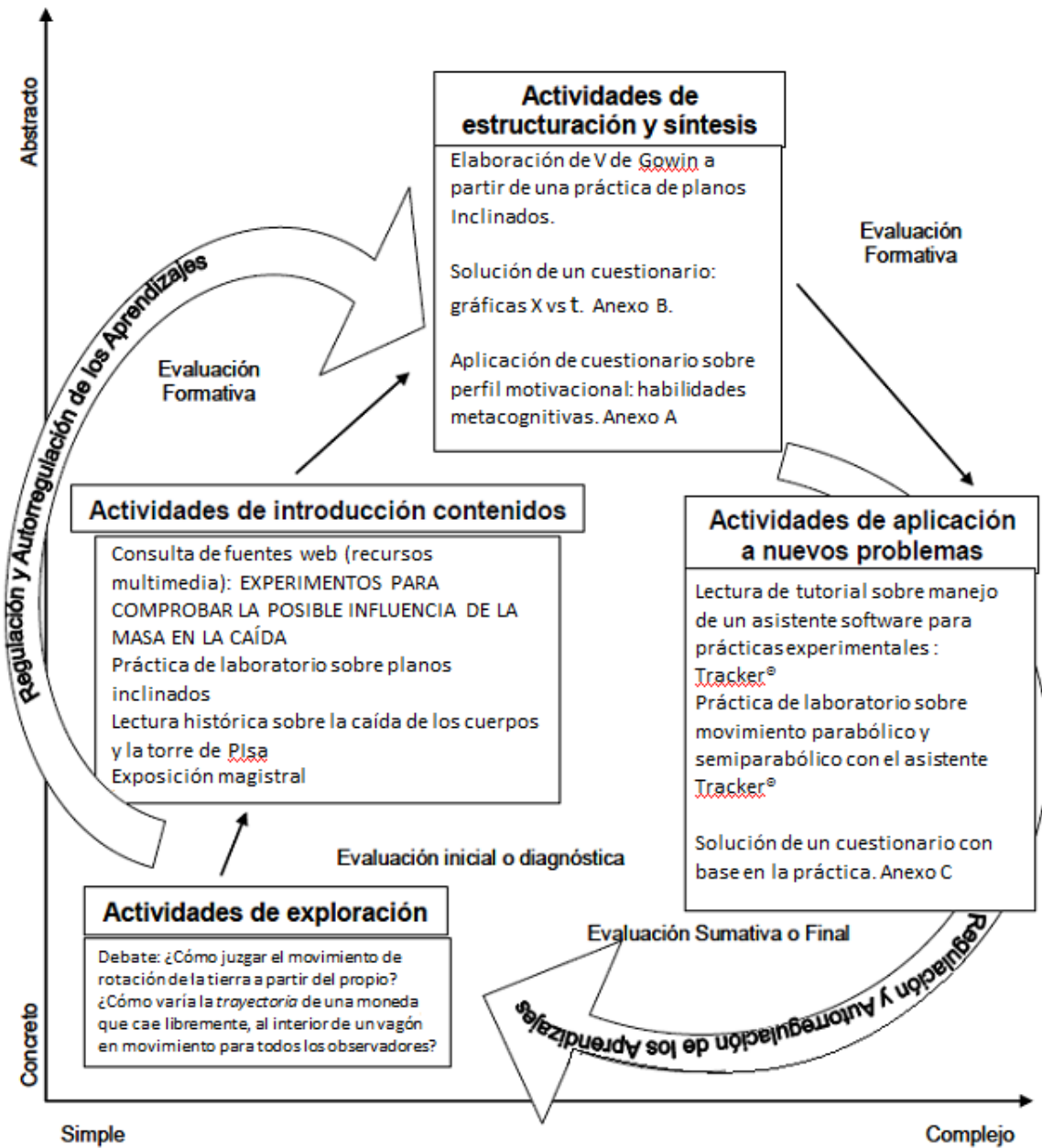


FIGURA 1. Resumen del ciclo didáctico cuyas fases se mueven entre lo simple y lo complejo y de lo concreto a lo abstracto. Modificado del Proyecto de Recontextualización de Planes de Área de Ciencias Naturales. U. de A. 2007.

## IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### IV.1 Resultados de la prueba de conocimientos previos

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 II.** 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. [1a]	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) [2b]
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. [2a’]	Sí la alcanza pero al final, porque la tortuga lleva el doble de distancia pero Aquiles el doble de velocidad, al final, se equivalen [2b]
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. [3a]	Aquiles llega a alcanzar la tortuga porque él es más rápido que la tortuga y en un punto se encontrarán [3b]
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). [4a]	Sí la alcanza, por el sólo hecho de ir a más velocidad que la tortuga [4b]
Lisa	Podrían seguirse haciendo bisecciones y llegaríamos al punto (B), pero ya no habría ningún segmento o trayecto que recorrer. Además matemáticamente daría infinito [5a]	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) [5b]

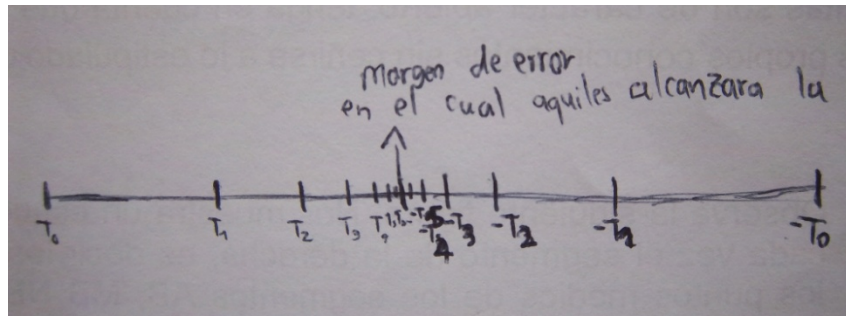


FIGURA 2. Solución dada a la paradoja de Aquiles y la Tortuga dada por un estudiante.

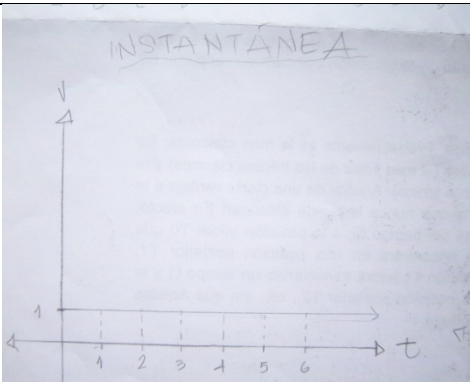
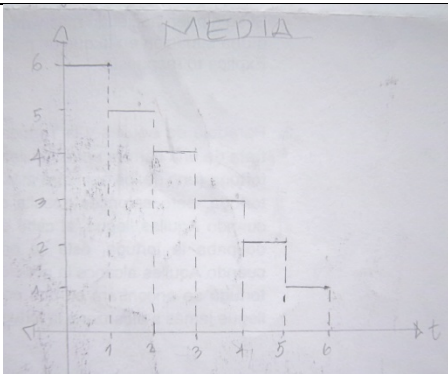
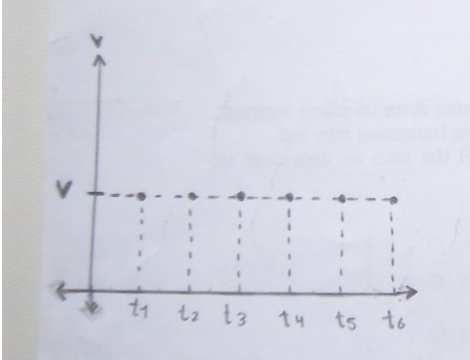
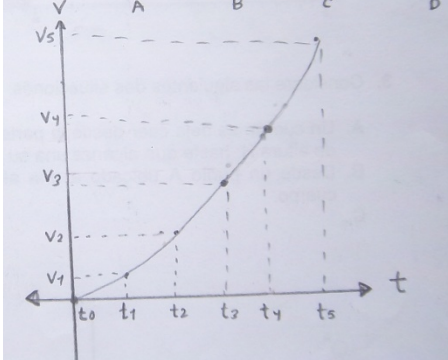
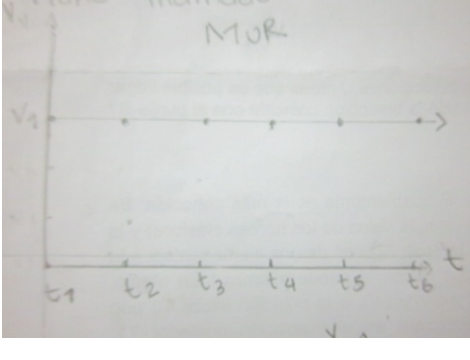
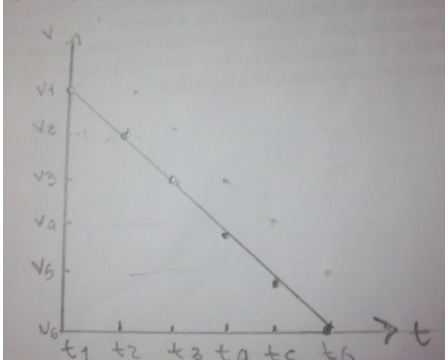
Las nociones de infinito y de continuidad, se aplicaban al concepto de velocidad instantánea particularmente en la preguntas 3. Aquí, tan solo en un caso, el resultado coincidió con lo hallado por Romero A. (2003) ya que los demás participantes, si bien le dieron un valor a la velocidad en cada uno de 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.

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 III. Velocidad media e instantánea según el taller de conceptos previos.

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

<p>Vale</p>		
<p>Lina</p>		
<p>Caro</p>		

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

#### IV.2 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, sin abandonar su esencia por supuesto, he aquí una muestra de la unidad de vectores, previa a la de cinemática:

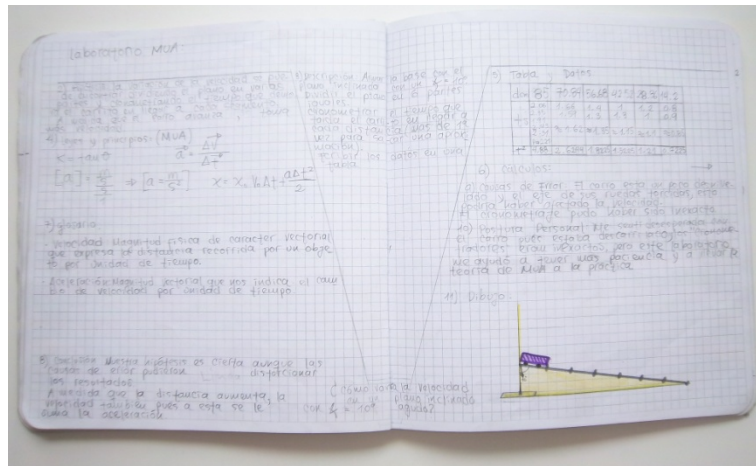


FIGURA 3. Ejemplo de V heurística.

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.

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.

#### IV. 3 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 balón y la caída de un chorro de agua, para luego determinar la trayectoria de ambos movimientos a través del asistente 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 balón:

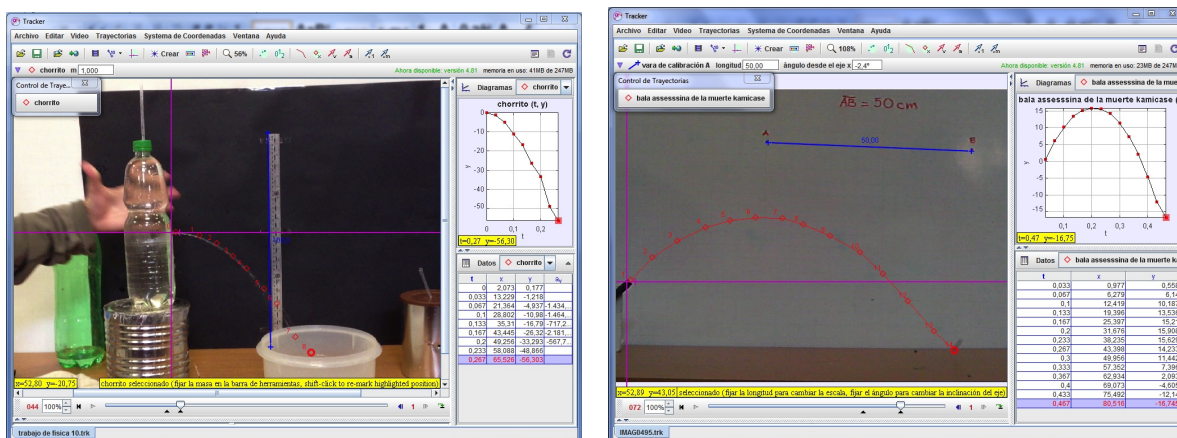


FIGURA 4. Modelo de vaciado de un recipiente en Tracker® por Vale.

El equipo de Leo logró la independencia de los movimientos, caída libre y movimiento uniforme rectilíneo en el caso del balón 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®.

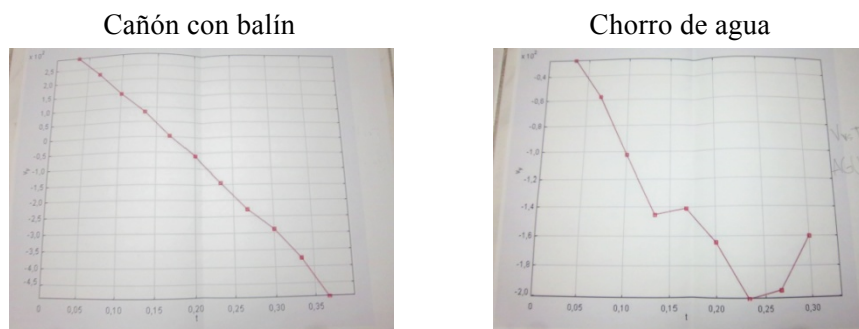


FIGURA 5. Gráfica de  $v_y$  en Tracker® por el equipo de Leo.

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 ( $\Delta x/\Delta t$ ) 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),  $980 \text{ cm/s}^2$ , los demás se limitaron a decir que decrecía pues era negativo pero no vieron una tendencia en la gráfica.

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 balón 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 balón, aún Caro, contestó que la velocidad tendrá el valor de  $980 \text{ cm/s}^2$ , lo que indica una confusión entre aceleración y velocidad.

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

Lisa y Lina:

1. En la altura: la "h" de la esfera crece y decrece el chorrillo de agua solo decrece.
2. En la velocidad: la esfera cuenta con un impulso lo que le da más velocidad que el chorrillo de agua que sólo tiene presión.
3. En la dx: el recorrido de la esfera es mayor que el del chorrillo de agua.
4. En la aceleración: la aceleración del chorrillo de agua es proporcional a la presión y la aceleración de la esfera es  $\alpha$  al impulso con el que sea lanzado.
5. En la dy: la curva del chorrillo 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 balón (Vale).

#### IV. 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 productos de la educación escolarizada.

## REFERENCIAS

Ministerio de Educación Nacional. (1998). *Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación ambiental*. Bogotá, Colombia.

Guidugli, S., Fernández Gauna, C. & Benegas, J. (2004). Aprendizaje activo de la cinemática lineal y su representación gráfica en la escuela secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 22(3), 463-472.

Henoa, B. L. & Stipcich, Ma. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 7(1).

Gil y Carrascosa, J. M. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of science Education*, 7(3), 231-236.

Pozo, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las ciencias*, 17(3), 513-520.

Duit, R., Treagust, D. F. y Widodo, A. (2008). *Teaching science for conceptual change: Theory and practice*. *International Handbook of Research on Conceptual Change*. pp. 629-646.

Aguilera, Soledad *et al.* (2011). Pensando en las relaciones entre cambio conceptual y creencias motivacionales. ¿Cómo se configuran estas relaciones en la lectura de textos académicos? *Revista Iberoamericana de Educación*, 54(5). Recuperado de: <http://www.rieoei.org/expe/3541Boatto.pdf>. Consultado el: 2 junio 2013.

Marín Martínez, N. (1999). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 80-92.

Jiménez, G. & Jiménez R. (2012). Los conceptos de movimiento y velocidad en los escolásticos. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 71.

Rendón, R. R. (2011). *La comprensión del concepto de continuidad en el marco de la teoría de Pirie y Kieren*. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Díaz Solórzano L. & González Díaz L. (2010). Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en Física. *Revista Mexicana de Física. E* 56(2).

Alonso Sánchez, M. F., Aracil, A. I., Martínez, A., Ortega, Ma. & Rodríguez, A. (2011). Demostraciones experimentales sobre la caída libre. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 69, 99-112.

Tamayo A., Oscar. (2009). *Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales-COL: Universidad de Caldas.