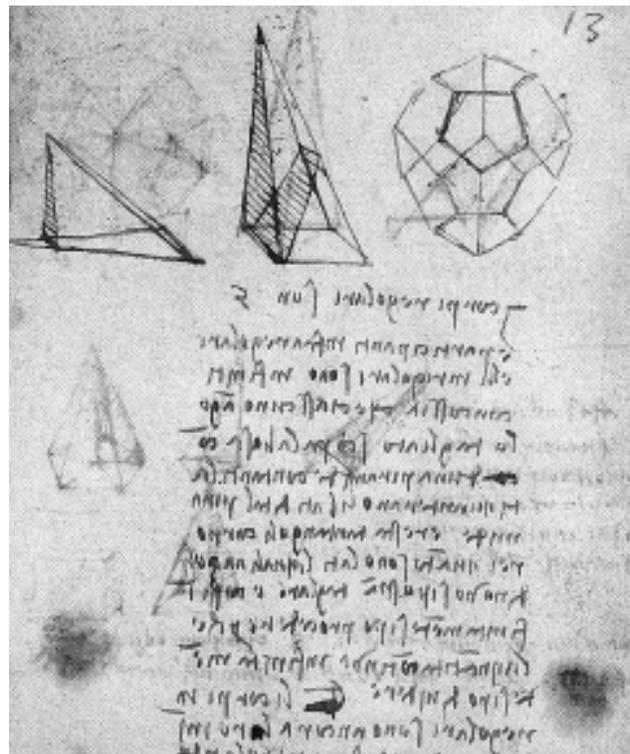


INSTRUMENTOS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS VECTORES EN CINEMÁTICA

Aníbal Mendoza Pérez
Luis Ripoll
Libardo Ruz



Leonardo da Vinci,
Geometría de sólidos.

RESUMEN

INSTRUMENTOS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS VECTORES EN CINEMÁTICA

En este texto se describe el proceso de construcción de dos instrumentos didácticos relacionados con la cinemática, los cuales permiten la toma de conciencia, por parte de los estudiantes, del carácter relativo del movimiento y de la discrepancia entre sus concepciones alternativas y los conceptos elaborados de posición, velocidad y aceleración.

RÉSUMÉ

INSTRUMENTS POUR L'ENSEIGNEMENT- APPRENTISSAGE DES VECTEURS EN CINÉMATIQUE

Dans ce texte on décrit le processus de construction de deux instruments didactiques en rapport avec la cinématique qui permettent aux étudiants de prendre conscience du caractère relatif du mouvement et de la divergence entre leurs conceptions alternatives et les concepts élaborés de position, vitesse et accélération.

ABSTRACT

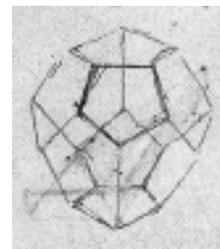
TOOLS FOR THE TEACHING-LEARNING OF VECTORS IN CINEMATICS

In this text the process of construction of two didactic instruments related to cinematic are described. Those instruments allow student awareness on the relative qualities of movement and the differences between the alternate notions and the ready-made concepts of position, velocity and acceleration.

PALABRAS CLAVE

*Enseñanza de la física, enseñanza de los vectores en cinemática.
Teaching of physics, teaching of vectors in cinematic.*

INSTRUMENTOS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS VECTORES EN CINEMÁTICA*



Aníbal Mendoza Pérez**

Luis Ripoll***

Libardo Ruz****

INTRODUCCIÓN

El propósito de este artículo es describir el proceso de construcción de dos instrumentos didácticos para la enseñanza-aprendizaje de los *vectores* en cinemática. El primer instrumento se desarrolló a partir de la evaluación diagnóstica de las concepciones alternativas o los errores más comunes que cometen los estudiantes en este tópico de la física mecánica. El propósito de este instrumento es diagnosticar las concepciones alternativas que poseen los estudiantes sobre el movimiento, dado que más adelante nos proponemos construir un software que se basa en la identificación del nivel del desarrollo actual de los estudiantes sobre el movimiento, según el concepto *zona de desarrollo próximo* de Vygotsky. Definimos este desarrollo actual a través de las concepciones alternativas y errores que poseen los estudiantes acerca del movimiento. El segundo instrumento se centra en la interpretación de los vectores *posición*, *velocidad* y *aceleración*, los cuales describen la cinemática de una partícula.

Con él se busca que los estudiantes comprendan que, al hablar del movimiento, éste tiene sentido si lo relacionamos con un punto de referencia, es decir, que el movimiento de un cuerpo siempre es relativo y su descripción depende del observador. El instrumento permite también generar aprendizaje significativo de la representación gráfica y matemática de los vectores de la cinemática mencionados.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este estudio, antes de iniciar el tema del movimiento, y con el propósito de recoger información acerca de las ideas previas que los estudiantes poseían al respecto, se les formularon las siguientes preguntas abiertas:

1. Decimos que un objeto está en movimiento cuando...

* Investigación financiada por la Universidad del Norte. Se inició en el 2002 y finalizó en el 2004.

** Profesor del Departamento de Matemáticas y Física de la Universidad del Norte. Coordinador del grupo Eureka, Barranquilla, Colombia.

E-mail: amendoza@uninorte.edu.co

*** Profesor del Departamento de Matemáticas y Física de la universidad del Norte. Miembro del grupo Eureka

E-mail: lripoll@uninorte.edu.co

**** Profesor del Departamento de Matemáticas y Física de la Universidad del Norte. Miembro del grupo Eureka.

E-mail: lruez@uninorte.edu.co

2. Todo movimiento es relativo. Esto significa que...
3. Un cuerpo tiene velocidad cuando...
4. Para mantener un cuerpo en movimiento se necesitará...

De los resultados de las preguntas que formulamos¹ y de los resultados de las investigaciones examinadas,² se llevó a cabo un análisis que atendiera los aspectos que manifestaban una concepción alternativa o un conocimiento equivocado (primer instrumento). Se analizó este último desde la perspectiva del tipo de enseñanza o del aprendizaje, y de allí derivamos orientaciones que nos permitieron

elaborar un instrumento que pretende desarrollar un proceso de enseñanza-aprendizaje significativo de los conceptos *posición, velocidad y aceleración* (segundo instrumento).

Para desarrollar este segundo instrumento, primero se procedió a describir en forma exhaustiva la representación gráfica y matemática, por parte de los investigadores, de las distintas situaciones problema de acuerdo con el tipo de movimiento, dando como resultado 216 preguntas que se responden según 15 gráficas y 15 ecuaciones matemáticas. Las preguntas fueron clasificadas como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de movimiento rectilíneo tenidos en cuenta en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

<i>Tipos de movimiento</i>	<i>Número de preguntas</i>
Movimiento a velocidad constante descrito por un observador.	24
Movimiento a velocidad constante descrito por dos observadores.	48
Movimiento uniformemente acelerado descrito por un observador.	48
Movimiento uniformemente acelerado descrito por dos observadores.	96

Este instrumento fue sometido a la evaluación de un grupo de profesores de física y posteriormente cada una de las situaciones problemas fue desarrollada en el laboratorio, gracias a las bondades de equipos tales como sensores, interfaz y un software que nos permite captar, clasificar, representar y modelar los datos de las cantidades físicas involucradas en la experiencia.

Se procedió en este orden para la construcción del instrumento, debido a que pretendemos que éste permita, primero, diagnosticar las concepciones alternativas o errores más comunes sobre la cinemática, y luego proceder, mediante un proceso interactivo de comunicación entre profesores y estudiantes, al proceso de enseñanza-aprendizaje. De no seguir este orden, los estudiantes obtendrían la

1 Las respuestas dadas por los estudiantes se presentan en las tablas 2-5, en el subapartado "Preconceptos y errores de los estudiantes", del apartado "Resultados y discusión".
 2 Véase al respecto el subapartado "Investigaciones previas sobre preconceptos y errores", en el apartado "Resultados y discusión".

solución de los problemas sin pasar por el proceso de reflexión y análisis sobre la base de la toma de conciencia de los conflictos cognoscitivos entre sus preconcepciones y errores, y los conceptos a enseñar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRECONCEPTOS Y ERRORES DE LOS ESTUDIANTES

A continuación mostramos las categorías de las respuestas dadas por los estudiantes a las cuatro preguntas abiertas.

De acuerdo con las categorías resumidas en la tabla 2, notamos que la concepción más relevante presentada por los estudiantes en relación con el movimiento de un cuerpo es que ocurre debido a una fuerza que lo obliga a cambiar de posición en el espacio. Esta concepción nos permite afirmar que los estudiantes identifican el movimiento con la causa que lo produce, lo cual está muy cerca de la concepción aristotélica del movimiento y muy alejada de la concepción galileana y newtoniana, para la cual, el objeto puede estar en movimiento sin necesidad de una fuerza.

Tabla 2. Resultados de la pregunta 1 (*Decimos que un objeto está en movimiento cuando...*)

<i>Concepciones de los estudiantes</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
1. Es sometido a una fuerza que lo obliga a cambiar de su posición en el espacio.	19	32,2
2. Cuando se desplaza de un sitio a otro.	12	20,3
3. Se le aplica una fuerza, pero además asocian otras cantidades físicas como la velocidad, la aceleración, la fricción, etc.	9	15,3
4. El movimiento está asociado a la velocidad, aceleración, inercia, desplazamiento.	8	13,5
5. Su velocidad es diferente de cero.	4	6,8
6. Su velocidad es diferente de cero y su lugar en el espacio cambia con respecto a su tiempo y posición.	3	5,1
7. Cambia su posición con respecto a su estado de reposo.	2	3,4
8. Cambia su posición respecto a un punto de referencia.	2	3,4
Total	59	100

Doce estudiantes de cincuenta y nueve tienen la concepción del movimiento como un desplazamiento de un sitio a otro sin hacer mención de un punto de referencia. No son conscientes del carácter relativo del movimiento. Veinticuatro estudiantes lo relacionan con otras cantidades físicas tales como aceleración, fuerza, desplazamiento y veloci-

dad, siendo esta última cantidad la que tiene mayor identificación con el estado del movimiento del cuerpo. En esta concepción prevalece aún el carácter absoluto del movimiento. Sólo cuatro estudiantes asocian el movimiento como un cambio de posición del cuerpo con respecto a un punto de referencia. De estos cuatro estudiantes, dos relacionan el estado de reposo con el marco de referencia.

Con relación al carácter relativo del movimiento, los estudiantes se apoyan en el significado de la palabra “relativo”, en el sentido de hacerlo depender de las cantidades físicas de

fuerza, aceleración, velocidad, etc. Sólo cinco estudiantes de cincuenta y cuatro, denotan la relatividad del movimiento, asociándola a un punto de referencia (véase tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la pregunta 2 (*Todo movimiento es relativo. Esto significa que...*)

<i>Concepciones de los estudiantes</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
1. Depende de una fuerza que se le aplica según el medio.	12	22,2
2. Todo movimiento puede cambiar.	8	14,8
3. Depende de un punto de referencia.	5	9,3
4. Asocian la relatividad del movimiento con cantidades físicas que se relacionan con el estado de movimiento de un cuerpo tales como: velocidad, distancia, aceleración, fuerza.	29	53,7
Total	54	100

Sobre el concepto *velocidad*, los estudiantes la asocian con la aceleración; la relación entre distancia recorrida y el tiempo, y al requerimiento de una fuerza para que el cuerpo tenga velocidad. Comparan, además, la fuerza externa que se ejerce sobre el objeto con la resistencia que ejerce este último; consideran que, para que se produzca el movimiento, la

fuerza externa debe ser mayor. También relacionan la velocidad con otros conceptos físicos implícitos en su definición tales como: desplazamiento, ausencia de reposo, variación de la posición respecto al tiempo, pero sin que en ninguno de ellos hagan mención de un marco de referencia. Igualmente involucran en esta concepción la transformación de la energía potencial a cinética (véase tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la pregunta 3 (*Un cuerpo tiene velocidad cuando...*)

<i>Concepciones de los estudiantes</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Está acelerado y ésta se incrementa.	15	25,9
Ha recorrido una distancia en un tiempo.	11	19
Está en movimiento y hay aceleración.	9	15,5
Se le aplican ciertas fuerzas que haga que se mueva.	7	12
La fuerza externa que se ejerce sobre el objeto es mayor a la resistencia que éste ejerce.	4	6,9
Asocian la velocidad con otros conceptos físicos implícitos en su definición tales como: desplazamiento, ausencia de reposo, variación de la posición respecto al tiempo, transformación de energía potencial a cinética.	12	20,7
Total	58	100

Por último, en cuanto a la necesidad para mantener un cuerpo en movimiento, treinta y cuatro estudiantes (64,2%) consideran que se necesita aplicarle una fuerza. Prevalece en forma marcada la concepción de Aristóteles de la necesidad de una fuerza para producir el movimiento. No surge la concepción galileana y newtoniana de que un cuerpo puede

estar en movimiento sin necesidad de aplicarle una fuerza. Otras concepciones que surgen, en cuanto a la necesidad para mantener un cuerpo en movimiento, están referidas a la velocidad, a la aceleración y al hecho de que el cuerpo debe estar en un medio en el cual no existan fuerzas opuestas al movimiento (véase tabla 5).

Tabla 5. Resultados de la pregunta 4 (*Para mantener un cuerpo en movimiento se necesitará...*)

<i>Concepciones de los estudiantes</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Aplicarle una fuerza determinada.	34	64,2
Que su velocidad sea constante.	5	9,4
De una aceleración.	4	7,5
Se presentaron diversas opiniones: encontrarse en un medio en donde no existan fuerzas opuestas al movimiento y que sobre él actúe una fuerza lo suficientemente alta para que se pierda su estado de reposo y se mantenga actuando sobre él; que no existan fuerzas de fricción; aplicarle una fuerza proporcional al peso del cuerpo; que la resultante de las fuerzas aplicadas sobre él sea mayor o igual a cero; que tenga energía cinética y se apliquen fuerzas sobre él; de una fuerza inversamente proporcional a la masa y a la resistencia.	10	18,9
Total	53	100

INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE PRECONCEPTOS Y ERRORES

En el examen sobre las investigaciones que se han hecho en esta temática, destacamos las siguientes concepciones, relacionadas con las respuestas de los estudiantes:³

1. *Las fuerzas están relacionadas con los seres vivos.* Diversos investigadores se refieren a este tipo de respuestas entre los que se destacan a Piaget (1970),⁴ Watts (1983)⁵ y Osborne (1980).⁶

3 Esta es una síntesis de cuatro aspectos que presentan Gunstone y Watts, en el capítulo 5 del texto de Driver, Guesne y Tiberghien (1992).

4 J. Piaget, 1970, *The Child's Conceptions of Movement and Speed* (Londres, Routledge and Kegan Paul), citado por Gunstone y Watts (1992).

5 D. M. Watts, 1983, *A Study of Alternative Frameworks in School Science* (Tesis doctoral inédita, Guildford, Universidad de Surrey), citado por Gunstone y Watts (1992).

6 R. J. Osborne, 1980, *Force Learning in Science Project* (Hamilton, Universidad de Waikato), citado por Gunstone y Watts (1992).

2. *El movimiento constante requiere una fuerza constante.* Estas ideas de los estudiantes se destacan en los trabajos realizados por Watts (1983), Watts y Zylbersztajn (1981),⁷ Sjoberg y Lie (1981),⁸ y Langford y Zollman (1982).⁹
3. *La cantidad de movimiento es proporcional a la cantidad de fuerza.* Esto significa que cuanto más fuertemente se empuje cualquier objeto, más rápido y más lejos irá (Watts, 1983).
4. *Si un cuerpo no se mueve, no actúa ninguna fuerza sobre él.* Esta regla parece apoyar la noción de que no tiene sentido buscar la fuerza si no hay una acción manifiesta. Minstrell (1982)¹⁰ pidió a los alumnos que utilizaran flechas para indicar, en un dibujo que representaba un libro apoyado en una mesa, las fuerzas que actuaban sobre él. Un 50% pensaba únicamente en la fuerza gravitatoria ejercida en forma vertical: "la mesa está simplemente en el medio". Esta regla de que la falta de movimiento significa falta de fuerza a menudo forma parte de la explicación dada por los estudiantes al hecho de que algo se pare.
5. *Si un cuerpo se mueve, hay una fuerza que actúa sobre él en la dirección del movimiento.* Según los trabajos de Viennot (1979)¹¹ y Gunstone y White (1981),¹² los estudiantes suelen pensar que la dirección de la fuerza

es necesariamente la misma que la del movimiento del objeto. Hay trabajos que documentan esta idea y entre ellos mencionamos los de Gardner (1984)¹³ y Gunstone (1984),¹⁴ los cuales realizaron estudios en los que se les presentaba a los estudiantes dibujos de un objeto en movimiento circular para que indicaran la dirección de la fuerza mediante flechas que actuaba sobre el objeto. Otras preguntas cuestionaban si la fuerza total era cero o no, y si no lo era, si actuaba en la dirección del movimiento o en alguna otra dirección. Las respuestas de los estudiantes coincidían en reafirmar la idea de que la fuerza actúa en la dirección del movimiento.

Otros trabajos que apuntan en esta dirección y cuyos resultados coinciden con los que hemos descrito son los desarrollados por: Hestenes, Wells y Swackhamer (1992), Trowbridge y McDermott (1980; 1981), Laburu y Carvalho (1992), Halloun y Hestenes (1985), y Jones (1983).

Como podemos apreciar, hay suficiente documentación acerca de las concepciones de los estudiantes sobre el movimiento; sin embargo, pocas están orientadas a generar procesos de enseñanza para que los estudiantes comprendan los conceptos básicos de la cinemática, como son el *desplazamiento*, la *velocidad* y la *aceleración*, a partir del entendimiento de que el movimiento es relativo, lo cual hace necesario hablarles de los marcos de referencia.

7 D. M. Watts y A. Zylbersztajn, 1981, "A Survey of some Childrens' Ideas about Force" (*Physics Education*, núm. 15, pp. 360-365), citado por Gunstone y Watts (1992).

8 D. Sjoberg y S. Lie, 1981, *Ideas about Force and Movement among Norwegian Pupils and Students (trabajo multicopiado)* (Oslo, Universidad de Oslo, Centre for School Science), citado por Gunstone y Watts (1992).

9 J. M. Langford, y D. Zollman, 1982, "Conceptions of Dynamics Held by Elementary and High School Students" (Trabajo presentado en la Asamblea Anual de la American Association of Physics Teachers, San Francisco), citado por Gunstone y Watts (1992).

10 J. Minstrell, 1982, "Explaining the at Rest Condition of an Object" (*The Physics Teacher*, núm. 20, pp. 10-14), citado por Gunstone y Watts (1992).

11 L. Viennot, 1979, "Spontaneous Learning in Elementary Dynamics" (*European Journal of Science Education*, vol. 1, núm. 2, pp. 205-221), citado por Gunstone y Watts (1992).

12 R. F. Gunstone y R. T. White, 1981, "Understanding of Gravity" (*Science Education*, núm. 65, pp. 291-299), citado por Gunstone y Watts (1992).

13 P. L. Gardner, 1984, "Circular Motion: Some Post-instructional Alternative Frameworks" (*Research in Science Education*, núm. 14, pp. 136-145), citado por Gunstone y Watts (1992).

14 R. F. Gunstone, 1984, "Circular Motion: Some Pre-instructional Alternative Frameworks" (*Research in Science Education*, núm. 14, pp. 125-135), citado por Gunstone y Watts (1992).

INSTRUMENTOS ELABORADOS

Los instrumentos cuyos procesos de construcción describimos a continuación, sentaron las bases para la elaboración del software AFIDA (Aprendizaje de la física a través del desarrollo actual del estudiante), el cual permite tomar conciencia a los estudiantes del carácter relativo del movimiento.¹⁵ Recomendamos que estos instrumentos sean utilizados por los docentes en su proceso de enseñanza-aprendizaje, acentuando en la representación gráfica y matemática de los vectores de la cinemática y en la reflexión crítica a partir de la generación de conflictos cognoscitivos entre

sus concepciones alternativas o errores más comunes identificados en los resultados de las investigaciones descritas.

- **Diagnóstico sobre concepciones alternativas**

Inicialmente se presenta un instrumento de selección múltiple que tiene por objeto diagnosticar las concepciones alternativas de los estudiantes en forma rápida sobre los conceptos básicos del movimiento. Este cuestionario se desarrolló teniendo en cuenta los resultados de las cuatro preguntas planteadas y los descritos en el examen de literatura.

Cuestionario de selección múltiple: conceptos básicos del movimiento

1. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: un cuerpo está en movimiento cuando...
 - A) una fuerza hace cambiar su posición en el espacio.
 - B) se desplaza de un sitio a otro.
 - C) su velocidad es diferente de cero.
 - D) cambia su posición respecto a un punto de referencia.
 - E) cambia su posición a medida que transcurre el tiempo.
2. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: la relatividad del movimiento de un cuerpo depende de...
 - A) la fuerza que se le aplica según el medio.
 - B) el punto respecto al cual cambia su posición.
 - C) la velocidad que lleva el cuerpo.
 - D) el cambio de lugar que adquiere al estar en movimiento.
 - E) la trayectoria que sigue al cambiar de lugar.
3. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: un cuerpo tiene una velocidad cuando...
 - A) tiene una aceleración y ésta se incrementa.
 - B) ha recorrido una distancia en un tiempo.
 - C) está en movimiento y hay aceleración.
 - D) se le aplica una fuerza que haga que se mueva.
 - E) cambia su posición con respecto al tiempo.

¹⁵ Véase al respecto la página web: <http://ylang-ylang.uninorte.edu.co/afida/>

4. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: para mantener un cuerpo en movimiento se necesitará que...
 - A) se le aplique permanentemente una fuerza.
 - B) se le imprima una velocidad.
 - C) cambie su posición respecto a un punto de referencia.
 - D) el cuerpo tenga una aceleración.
 - E) se encuentre en un medio donde no existan fuerzas disipativas.

5. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: la posición de un cuerpo es...
 - A) el lugar determinado donde él se encuentra.
 - B) la ubicación respecto a un punto de referencia.
 - C) la distancia que existe a un punto específico.
 - D) el desplazamiento que hace respecto al origen.
 - E) cualquier punto de la trayectoria de la partícula.

6. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: el punto de referencia se puede entender como el punto...
 - A) a partir del cual se va a realizar una medición física.
 - B) desde donde comienza a moverse un cuerpo.
 - C) de ubicación de un cuerpo según otro en el espacio.
 - D) a partir del cual se establece el estado de movimiento de un cuerpo.
 - E) donde llega un cuerpo después de haber realizado un desplazamiento.

7. Encierre en un círculo la proposición que mejor describe la siguiente situación física: la posición y el punto de referencia de un cuerpo están relacionados porque para conocer el estado de movimiento de un cuerpo es necesario confirmar si...
 - A) hay cambio de posición respecto a un punto de referencia.
 - B) el punto de referencia es el punto inicial y la posición, el punto final.
 - C) se tomó un punto de referencia para saber la posición de un cuerpo.
 - D) la posición y el punto de referencia permiten saber si hay desplazamiento.
 - E) la posición de un cuerpo puede ser determinada por el punto de referencia.

• **Instrumento para describir el carácter relativo de los vectores de la cinemática**

Con este instrumento se pretende describir, a través de un proceso de enseñanza-aprendizaje, el carácter relativo de los vectores *desplazamiento*, *velocidad* y *aceleración*.

Con este instrumento se analiza el movimiento rectilíneo de acuerdo con las siguientes cua-

tro categorías: movimiento a velocidad constante, movimiento uniformemente acelerado, movimiento relativo a velocidad constante y movimiento relativo a aceleración constante. Todas las preguntas planteadas en el instrumento se responden según la Tabla 6 y las quince gráficas de la figura 1. En todas las gráficas la variable independiente es el tiempo y la variable dependiente puede ser la posición, la velocidad o la aceleración.

Tabla 6. Ecuaciones para evaluar la cinemática

Número	Ecuaciones
1	$y = 0$
2	$y = a$
3	$y = -a$
4	$y = bx$
5	$y = -bx$
6	$y = cx^2$
7	$y = -cx^2$
8	$y = a - bx$
9	$y = -a + bx$
10	$y = a - cx^2$
11	$y = -a + cx^2$
12	$y = bx - cx^2$
13	$y = -bx + cx^2$
14	$y = a - bx + cx^2$
15	$y = -a + bx - cx^2$

Las ecuaciones matemáticas de la Tabla 6, se interpretan de acuerdo al siguiente convenio:

Variables y constantes:

x : variable independiente.

y : variable dependiente.

a , b y c : coeficientes constantes.

Significado físico:

x : variable temporal.

y : variable de posición, velocidad o aceleración.

a , b y c : coeficientes constantes de posición inicial, velocidad inicial o la mitad de la aceleración.

Signos: la posición se considera positiva a la derecha del observador (parada) y negativa a la izquierda.

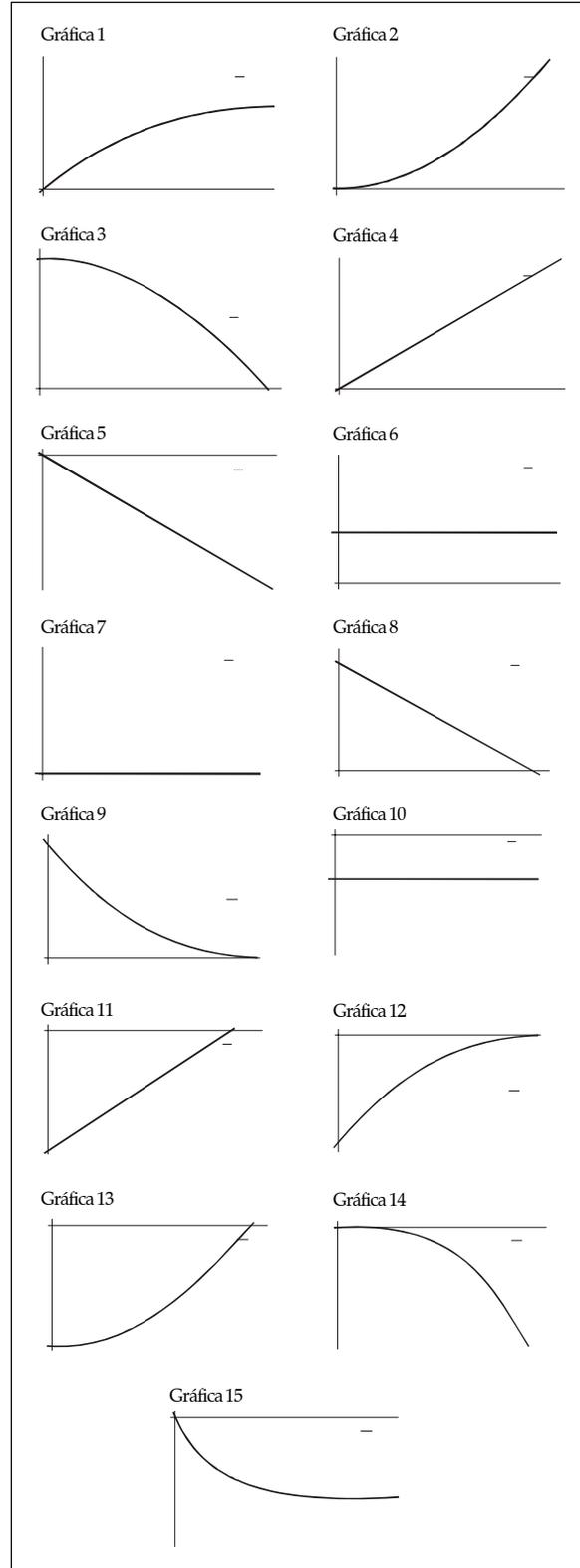


Figura 1. Gráficas de posición, velocidad y aceleración como funciones del tiempo

A continuación se presentan las cuatro categorías de análisis.

Movimiento con velocidad constante descrito por un observador
<p>Responda las siguientes dos preguntas para cada uno de los siguientes cuatro problemas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo descrita por un observador en la parada? _____, _____, _____ 2. Indique, con el número que corresponde en la Tabla 6, ¿cuál(es) de las ecuaciones representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo descrita por un observador en la parada? _____, _____, _____ <p>Problemas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un carro que se mueve con rapidez constante pasa por la parada de una vía en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro se mueve a la derecha alejándose de la parada. 2. Un carro que se mueve con rapidez constante se encuentra en una posición inicial a la derecha de una parada sobre la vía, en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro se mueve acercándose a la parada. 3. Un carro que se mueve con rapidez constante pasa por la parada de una vía en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro se mueve a la izquierda alejándose de la parada. 4. Un carro que se mueve con rapidez constante se encuentra en una posición inicial a la izquierda de una parada sobre la vía, en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro se mueve acercándose a la parada.

Movimiento uniformemente acelerado descrito por un observador
<p>Responda las siguientes dos preguntas para cada uno de los siguientes ocho problemas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo descrita por un observador en la parada? _____, _____, _____ 2. Indique, con el número que corresponde en la tabla 6, ¿cuál(es) de las ecuaciones representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo descrita por un observador en la parada? _____, _____, _____ <p>Problemas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un carro parte del reposo de una parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro comienza a descender por una vía inclinada un tramo recto, alejándose a la derecha de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente. 2. Un carro que parte con una rapidez inicial en el instante en que se comienza a medir el tiempo, asciende por una vía recta acercándose a una parada en la cima de la pendiente. El ascenso se hace del lado derecho de la parada con una rapidez que disminuye uniformemente hasta detenerse en la parada.

3. Un carro parte del reposo de una parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. El carro comienza a descender por una vía inclinada un tramo recto, alejándose a la izquierda de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente.
4. Un carro que parte con una rapidez inicial en el instante en que se comienza a medir el tiempo, asciende por una vía recta acercándose a una parada en la cima de la pendiente. El ascenso se hace del lado izquierdo de la parada con una rapidez que disminuye uniformemente hasta detenerse en la parada.
5. Un carro que parte del reposo en el instante en que se comienza a medir el tiempo, desciende por una vía recta acercándose a una parada en la cima de la pendiente. El descenso se hace del lado derecho de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente.
6. Un carro que parte con una rapidez inicial en el instante en que se comienza a medir el tiempo, asciende por una vía recta alejándose de una parada ubicada en la cima de la pendiente. El ascenso se hace por el lado derecho de la parada con una rapidez que disminuye uniformemente hasta detenerse.
7. Un carro que parte del reposo en el instante en que se comienza a medir el tiempo, desciende por una vía recta acercándose a una parada en la cima de la pendiente. El descenso se hace del lado izquierdo de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente.
8. Un carro que parte con una rapidez inicial en el instante en que se comienza a medir el tiempo, asciende por una vía recta alejándose de una parada ubicada en la cima de la pendiente. El ascenso se hace por el lado izquierdo de la parada con una rapidez que disminuye uniformemente hasta detenerse.

Movimiento con velocidad constante descrito por dos observadores

Responda las siguientes cuatro preguntas para cada uno de los siguientes cuatro problemas:

1. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del segundo observador descrito por el primer observador en la parada? _____, _____, _____
2. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del primer observador descrito por el segundo? _____, _____, _____
3. Indique, con el número que corresponde en la tabla 6, ¿cuál(es) de las ecuaciones representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del segundo observador descrito por el primer observador en la parada? _____, _____, _____
4. Indique, con el número que corresponde en la tabla 6, ¿cuál(es) de las ecuaciones representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del primer observador descrito por el segundo? _____, _____, _____

Problemas:

1. Un primer observador, ubicado en una parada en la acera de una carretera recta, observa a un segundo observador que va montado en su carro, el cual tiene una velocidad frente a la parada

en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha alejándose de la parada con rapidez constante.

2. Un primer observador, ubicado en una parada en la acera de una carretera recta, observa a un segundo observador que va montado en su carro, el cual tiene una velocidad en una posición a su derecha en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda acercándose a la parada con rapidez constante.
3. Un primer observador, ubicado en una parada en la acera de una carretera recta, observa a un segundo observador que va montado en su carro, el cual tiene una velocidad frente a la parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda alejándose de la parada con rapidez constante.
4. Un primer observador, ubicado en una parada en la acera de una carretera recta, observa a un segundo observador montado en su carro, el cual tiene una velocidad en una posición a su izquierda en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha acercándose a la parada con rapidez constante.

Movimiento con aceleración constante descrito por dos observadores

Responda las siguientes cuatro preguntas para cada uno de los siguientes ocho problemas:

1. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del segundo observador descrito por el primer observador en la parada? _____, _____, _____
2. Indique, con el número que corresponde en la figura 1, ¿cuál(es) de las gráficas representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del primer observador descrito por el segundo? _____, _____, _____
3. Indique, con el número que corresponde en la tabla 6, ¿cuál(es) de las ecuaciones representa(n) respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del segundo observador descrito por el primer observador en la parada? _____, _____, _____
4. Indique, con el número que corresponde en la Tabla 6, ¿cuál de las ecuaciones representa respectivamente la posición, velocidad y aceleración como función del tiempo del movimiento del primer observador descrito por el segundo? _____, _____, _____

Problemas:

1. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que está montado en su carro y parte del reposo frente a la parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha descendiendo y alejándose de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente.
2. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que va montado en su carro y tiene una velocidad en una posición a su

derecha en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda ascendiendo y acercándose a la parada con una rapidez que disminuye en forma uniforme hasta detenerse en la parada.

3. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que está montado en su carro y parte del reposo frente a la parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda descendiendo y alejándose de la parada con una rapidez que aumenta uniformemente.
4. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que va montado en su carro y tiene una velocidad en una posición a su izquierda en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha ascendiendo y acercándose a la parada con una rapidez que disminuye en forma uniforme hasta detenerse en la parada.
5. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que está montado en su carro y parte del reposo desde una posición a su derecha en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda descendiendo y acercándose a la parada con una rapidez que aumenta en forma uniforme hasta la parada.
6. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que va montado en su carro y tiene una velocidad frente a la parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha ascendiendo y alejándose de la parada con una rapidez que disminuye en forma uniforme hasta detenerse.
7. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que está montado en su carro y parte del reposo desde una posición a su izquierda en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la derecha descendiendo y acercándose a la parada con una rapidez que aumenta en forma uniforme hasta la parada.
8. Un primer observador, ubicado en una parada en la cima de una pendiente, observa a un segundo observador que va montado en su carro y tiene una velocidad frente a la parada en el instante en que se comienza a medir el tiempo. Éste se mueve a la izquierda ascendiendo y alejándose de la parada con una rapidez que disminuye en forma uniforme hasta detenerse.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones más importantes que derivamos de este trabajo:

1. Mediante la construcción y aplicación de estos dos instrumentos, se ha permitido diagnosticar las concepciones alternativas y errores relevantes que poseen los estudiantes acerca del movimiento.
2. Estos dos instrumentos sentaron las bases para la elaboración de un software, AFIDA, que se está aplicando en la enseñanza de la cinemática a estudiantes de segundo semestre de ingeniería de la Universidad del Norte y en la Universidad Tecnológica de Cartagena.
3. La aplicación de estos dos instrumentos ha permitido la toma de conciencia por parte de los estudiantes del carácter relativo del movimiento, el análisis gráfico y descripción analítica del movimiento.

RECOMENDACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Al introducir el estudio del movimiento se hacen las siguientes recomendaciones:

1. No se debe tratar el movimiento sin considerar un punto de referencia, so pena de que los estudiantes lo identifiquen con los vectores de *desplazamiento*, *velocidad* y *aceleración* de la cinemática. Para ello se sugiere presentar al estudiante situaciones físicas que lo lleven a la necesidad de establecer un punto de referencia para hacer la correcta descripción del estado del movimiento de un cuerpo. Esto se justifica debido a que los estudiantes, en su gran mayoría, tienen la idea del movimiento como un desplazamiento de un lugar a otro, pero sin tener en cuenta el punto de referencia, lo cual evidencia una concepción absoluta del movimiento, muy cerca de las ideas aristotélicas.
2. Es necesario caracterizar el vector de posición de un cuerpo, como la ubicación de una partícula, respecto a un punto de referencia. Se busca así que los estudiantes tengan una comprensión del vector *desplazamiento* como el cambio de posición. Seguidamente se le deben presentar a los estudiantes situaciones físicas y prácticas para que diferencien entre *distancia* y *desplazamiento*. Diferenciar estos dos conceptos dará las bases para que ellos comprendan que la velocidad es un vector, el cual indica una razón de cambio que especifica qué tan rápido se cubre un desplazamiento, y en cuanto a la rapidez que es un escalar, que indica qué tan rápido se cubre la distancia.
3. Para evitar la confusión de los estudiantes de identificar la velocidad con la aceleración se recomienda, una vez aclarados los conceptos *desplazamiento* y *velocidad*, pre-

sentar la aceleración como una doble razón de cambio que especifica qué tan rápido cambia la rapidez con que algo se mueve.

4. Los estudiantes consideran que un cuerpo permanece en movimiento sólo si sobre él actúa una fuerza. Para erradicar esta concepción aristotélica se sugiere introducir las clases presentando la argumentación galileana de sus "experimentos pensados", con planos inclinados que conducen al concepto *inercia*, el cual se contraponen a la concepción aristotélica. Al contraponer la concepción galileana a la aristotélica del movimiento se dan las bases para que los estudiantes logren la comprensión de la primera ley de Newton.
5. Por último, recomendamos aplicar el instrumento que hemos descrito, el cual enfatiza en la descripción de los vectores de la cinemática a partir de la toma de conciencia por parte de los estudiantes de establecer siempre un punto de referencia al iniciar el estudio del movimiento. Este instrumento se puede desarrollar tanto en la enseñanza teórica como práctica de la cinemática. Es necesario tener en cuenta, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, generar una interacción entre estudiantes y el profesor a partir de la evaluación diagnóstica de las concepciones de los estudiantes y de los errores más comunes que hemos descrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUNSTONE, R., y WATTS, M., 1992, "Fuerza y movimiento", en: DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHIE, A., *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, 2.ª ed., Madrid, Morata, pp. 137-167.
- HALLOUN, I. A. y HESTENES, D., 1985, "Common Sense Concepts about Motion", *American*

Journal Physics, vol. 53, núm. 11, pp. 1.056-1.065.

HESTENES, D.; WELLS, M. y SWACKHAMER, G., 1992, "Force Concept Inventory", *The Physics Teacher*, núm. 30, pp. 141-158.

JONES, A. T., 1983, "Investigation of Students' understanding of Speed, Velocity and Acceleration", *Research in Science Education*, núm. 13, pp. 95-104.

LABURRÚ, C. E. y Carvalho, A. M. P. de, 1992, "Investigación del desarrollo y aprendizaje de la noción de aceleración en adolescentes", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 10, núm. 1, pp. 63-72.

TROWBRIDGE, D. E. y McDERMOTT, L. C., 1980, "Investigation of Student understanding of the Concept of Velocity in One Dimension", *American Journal Physics*, vol. 48, núm. 12, pp. 1.020-1.028.

REFERENCIA

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

Original recibido: septiembre 2005

Aceptado: noviembre 2005

Se autoriza la reproducción del artículo citando la fuente y los créditos de los autores.

