

## INCIDENCIA DE LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA EN EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CINEMÁTICOS EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE LA UAM ANALIZADA DESDE SUS IDEAS PREVIAS

*EFFECT OF A DIDACTIC INTERVENTION WHEN LEARNING KINEMATIC CONCEPTS FROM THE PREVIOUS IDEAS OF ENGINEERING STUDENTS AT UAM*

**Francy Nelly Jiménez García y Jairo de Jesús Agudelo Calle**  
Universidad Autónoma de Manizales, Manizales (Colombia)  
Universidad Nacional de Colombia, Manizales (Colombia)

**Jhon Jairo Vargas Sánchez**  
Universidad Autónoma de Manizales, Manizales (Colombia)

### Resumen

El estudio de las ideas previas es un punto de partida obligado cuando se trata de realizar una intervención didáctica, ya que conocerlas permite el diseño de actividades de aprendizaje tendientes a contrastarlas, modificarlas y ayudar a su evolución. En este artículo se presenta un estudio realizado sobre la incidencia de una intervención didáctica en el proceso de enseñanza aprendizaje de la cinemática, la cual se basó en el uso de actividades de aprendizaje diseñadas desde el conocimiento de las ideas previas de estudiantes de ingeniería de la UAM. El estudio se contrastó con una intervención en la cual no se tuvieron en cuenta dichas ideas previas. Las actividades de aprendizaje se organizaron en unidades didácticas estructuradas desde los planteamientos de los estilos de aprendizajes de Kolb, es decir, teniendo en cuenta actividades de reflexión, conceptualización, experimentación y aplicación. Se diseñó y aplicó un test para conocer las ideas previas y su evolución después de los procesos de enseñanza y aprendizaje y se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos basados en técnicas estadísticas que permitieron determinar un impacto favorable de esta intervención. Se detectaron algunos obstáculos para el aprendizaje de los estudiantes y cómo se contrarrestaron a medida que se hacía más consciente y metódico el trabajo con las actividades de aprendizaje desde la unidad didáctica diseñada.

**Palabras claves:** ideas previas, enseñanza, aprendizaje, cinemática, unidad didáctica.

## Abstract

The study of the previous ideas is a necessary starting point when making an educational intervention to know them and allows the design of learning activities to contrast, modify and help to evolve them. This paper presents a study on the impact of an educational intervention in cinematic theme based on the use of learning activities designed from knowledge of previous ideas of engineering students from UAM). This study was contrasted with an intervention in which those previous ideas were not taken into account. Learning activities were organized into teaching units raised from the approaches of the Kolb learning styles. Activities of reflection, conceptualization, experimentation and application were taking into account. A test for the previous ideas and their evolution after the teaching-learning process was designed and applied. Quantitative and qualitative analysis based on statistical techniques allowed determining a favorable impact of this intervention. Some barriers to student learning and how they were decreasing as the work became more conscious and methodical with learning activities designed for the teaching unit were identified.

**Keywords:** previous ideas, teaching, learning, kinematics, didactic unit.

## Introducción

En la tendencia pedagógica tradicional el docente es considerado el centro del proceso de enseñanza; es el que piensa y transmite los conocimientos, lo cual deja poco margen a la participación activa del estudiante (Clement, 1982). Esta orientación sigue siendo parte de la enseñanza de algunos docentes e instituciones, en las que la evaluación del aprendizaje aún va dirigida al resultado mas no al proceso. Una de las corrientes pedagógicas actuales que buscan mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje se basa en el estudio de las ideas previas. Que Son aquellos preconceptos, producto de la experiencia personal, con los que una persona trata de explicar y entender su entorno.

Existe gran variedad de evidencias que muestran que las ideas previas son muy difíciles de cambiar, e incluso en ocasiones perduran largos años de instrucción científica (Reif, 1991; Camarazza, 1981; Green, 1981; Greca, 1997). Además, son independientes del nivel de enseñanza, de lo “brillante” que resulte el estudiante y de su procedencia (Gómez, 2004). Los estudiantes llegan a las clases de ciencias con múltiples ideas previas relacionadas con fenómenos y conceptos científicos a través de las cuales ellos mismos pueden explicarlos (Pozo, 1991; Wandersee, 1994, Cubero 1994)). Estas ideas están presentes en todos los niveles, edades, géneros y culturas; son implícitas, es decir, los estudiantes no son conscientes de ellas; incluso, para un mismo estudiante, son contradictorias cuando se

aplican a contextos diferentes. Las ideas previas no se modifican tan fácilmente por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia y por lo tanto es importante tener en cuenta el principio de Ausubel: “El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enséñese consecuentemente” (1986).

En el caso particular de la física mecánica se han realizado muchos estudios acerca de ideas previas, especialmente en el tema de fuerza (Halloun, 1985; Grizales, 2002; Harres, 2005), pero no tanto en lo relacionado con conceptos de cinemática, a pesar de la importancia que éstos tienen para quienes están comenzando el aprendizaje en dicha área.

Ya que las ideas previas están presentes en todos los procesos de enseñanza y aprendizaje, deben ser un punto de partida para el diseño de actividades de aprendizaje en las cuales se busque que los estudiantes experimenten y discutan sobre un concepto o fenómeno para así contrastarlas, relacionarlas con los nuevos conocimientos y modificarlas gradualmente hasta equipararlas al conocimiento científico (McDermott, 1997; Posner, 1982).

El diseño e implementación de tales actividades dependerá de la creatividad del docente para lograr que sean de fuerte impacto cognitivo y motivacional y estén organizadas dentro de unidades didácticas. Una unidad didáctica es considerada como un instrumento pedagógico que responde a las necesidades educativas

de manera organizada y sistemática (Torres Santomé, 1998); es un procedimiento que les permite tanto al docente como al estudiante tener una guía eficiente de las actividades; surgen de la necesidad de encontrar un diseño organizado y esquemático que mejore los procesos de enseñanza y aprendizaje y que por ende le permita a cada estudiante apropiarse de una mejor manera de los conceptos básicos y necesarios para su aprendizaje.

Estas unidades didácticas pueden ser diseñadas teniendo en cuenta los estilos de aprendizaje, ya que como bien lo dice la teoría, cada ser humano aprende de forma diferente (Alonso, Honey, 1994). Es necesario que el docente tenga muy clara la manera en la que el que va a ser instruido aprende y genera estrategias que privilegien todos los estilos de aprendizaje; este tema requiere un estudio más profundo y no se aborda en este documento. Para este trabajo se tienen en cuenta ciertos aspectos de esta teoría en la creación de las unidades didácticas en las cuales se incluyeron actividades que favorecieran los cuatro estilos (reflexivo, pragmático, teórico y activo).

Para el análisis de la información producto de esta investigación se han empleado algunas técnicas estadísticas como pruebas de hipótesis de proporciones, pruebas T pareadas, análisis bayesiano y la técnica numérica análisis envolvente de datos (DEA), entre otras. A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica no paramétrica que se usa para medir las eficiencias de un conjunto de unidades de decisión, DMU (Decision Making Unit) (Cooper, 2007). La técnica está diseñada para ubicar con mayor eficiencia a aquellas DMU que consumen menos recursos en las entradas para obtener mayores salidas. Uno de los modelos DEA más conocido es el Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) el cual puede ser orientado a las entradas o a las salidas (Cooper, 2007).

Pruebas de hipótesis de proporción: consisten en probar la hipótesis nula de que dos proporciones o parámetros binomiales son iguales. Es decir, que  $p_1=p_2$  contra una de las opciones  $p_1<p_2$ ,  $p_1>p_2$ , o  $p_1\neq p_2$ . El estadístico en el que se basa la decisión es la variable aleatoria  $\hat{P}_1 - \hat{P}_2$ , donde  $P_1$  y  $P_2$  son las proporciones poblacionales, y su diferencia se distribuye de forma aproximadamente normal para  $n_1$  y  $n_2$  y suficientemente grande (Walpole, 2007).

Prueba T pareada: usada para la comparación de medias cuando las varianzas son desconocidas. Para probar la hipótesis de igualdad de medias, se toman dos muestras aleatorias de tamaño  $n_1$  y  $n_2$  respectivamente. Si los dos grupos siguen una distribución normal y son independientes entre ellos, se usa el estadístico de comparación de medias, el cual sigue una distribución T de Student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad (Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2008). Se rechaza la hipótesis nula cuando el anterior estadístico calculado es mayor que un  $t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$ . No se rechaza la hipótesis bilateral cuando  $-t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} < t < t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$  (Walpole, 2007).

Análisis bayesiano: los modelos estadísticos involucran múltiples observaciones que se pueden escribir como el vector  $y=(y_1, y_2, \dots, y_n)'$ . Estas observaciones se recolectan independientemente de que se dé un vector de parámetros  $\theta$  en el modelo dado como  $\theta=(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r)'$ , (Christensen, 2011). Las estadísticas bayesianas inician con una información a priori a cerca del estado natural del parámetro  $\theta$  que involucra una densidad a priori  $p(\theta)$ . Usando el teorema de Bayes y la variable aleatoria de los datos  $y$ , se obtiene una distribución condicional del parámetro dadas unas observaciones, cuya densidad es  $f(y|\theta)$ . Siendo  $\theta \sim \text{Beta}(a, b)$  con densidad  $p(\theta)$ , su distribución a posteriori, dadas unas observaciones, es  $\theta|y \sim \text{Beta}(y+a, n-y+b)$ , donde los valores esperados de  $\theta$  y  $\theta|y$  son respectivamente  $E(\theta) = \frac{a}{a+b}$ ,  $E(\theta|y) = \frac{y+a}{n+a+b}$ ,

## Desarrollo metodológico

Diseño del test: se diseñó un test sobre diferentes conceptos de cinemática, basado en algunos ya conocidos y validados como *Mechanics Baseline Test* (MBT), elaborado por Hestenes y Wells (1992), *Force Concept Inventory* (FCI) diseñado por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992), y *Force and Motion Conceptual Evaluation*, elaborado por Thornton y Sokoloff (1998). Estos test hacen referencia, en general, al concepto de fuerza. Por tal razón fue necesario diseñar un test en busca de las ideas previas en los conceptos cinemáticos específicamente.

El test diseñado contiene 20 preguntas en las cuales se explora por los conceptos de posición, velocidad y aceleración, enfatizando desde una de las tres categorías siguientes: análisis vectorial, análisis gráfico y análisis situacional. Estas categorías fueron planteadas para conocer cómo interactúan los estudiantes con cantidades cinemáticas desde estos tres componentes que las definen. Por ejemplo, si bien el estudiante puede hacer un manejo gráfico adecuado, su conceptualización vectorial a veces queda relegada y en la mayoría de los casos no hay un acercamiento adecuado al carácter vectorial de las cantidades físicas ya que en los cursos de física de secundaria no se trabaja mucho en este sentido. A continuación se describe cada una de las categorías con su respectivo análisis:

- **Categoría 1 (análisis vectorial):** en esta categoría se involucra el carácter vectorial de las cantidades físicas posición, velocidad y aceleración por medio de las preguntas 8, 13, 14, 15, 16 y 17. En general, los estudiantes no están habituados al manejo vectorial de estas cantidades físicas, en especial cuando se hace referencia al movimiento rectilíneo; por tal razón se hace necesario establecer las concepciones que tienen para explicar situaciones que requieren dicho manejo.
- **Categoría 2 (análisis gráfico):** en esta categoría se evalúa la conceptualización en cinemática mediante gráficos de posición, velocidad o aceleración en función del tiempo, ya sea de la misma cantidad física que está en el gráfico o extrayendo información de otra. Se encuentran en esta categoría las preguntas: 1, 2, 9, 10, 11, 12, 18, 19 y 20. Es claro que los estudiantes, a lo largo de sus estudios en secundaria y algunos cursos universitarios, han estudiado las funciones y su representación gráfica, pero a la hora de aplicarlas no hay una relación directa con lo que saben.
- **Categoría 3 (análisis situacional):** por medio del análisis de una situación en particular, como en el caso de caída libre, un movimiento rectilíneo muy representativo, se indaga sobre los conceptos mencionados. Esta categoría incluye las preguntas 3, 4, 5, 6 y 7. La respuesta a la pregunta 7 constaba únicamente de dos opciones (sí o no) y se le solicitaba al estudiante una justificación de la misma.

En general, todas las preguntas, exceptuando la 7, presentaban 5 o 6 opciones de respuesta y cada una daba cuenta de un tipo de concepción específica en cuanto al concepto cinemático, como se mostrará más adelante al analizar algunas preguntas particulares.

- **Aplicación del test:** el estudio se realizó en dos semestres consecutivos; en el primer semestre de 2013 a un grupo de 30 estudiantes, el cual se denominará G1 y en el segundo semestre del mismo año a otro de 32 estudiantes, el cual se llamará G2 en lo que resta de este escrito. Todos eran estudiantes de ingeniería y ya habían cursado las asignaturas de matemáticas básicas y cálculo diferencial y simultáneamente estaban cursando cálculo integral.

El test se aplicó en diferentes momentos, empleando la plataforma Moodle y un aula digital diseñada para el curso de Física Mecánica de la UAM. El test se aplicó inicialmente antes de comenzar el tema de cinemática, es decir, al terminar vectores; luego se aplicó de nuevo tres semanas después de la intervención didáctica sobre las temáticas de cinemática; lo anterior, con el fin de que no se tratara de una cuestión netamente memorística sino dando tiempo a la apropiación del tema.

- **Intervención didáctica:** en cuanto a la intervención didáctica efectuada con el grupo G1 se realizaron las actividades de diseño y montaje de un aula virtual de física mecánica en la cual, además del test de evaluación y material escrito, se subieron videos enlazados con algunas preguntas orientadoras que les permitía prepararse para los temas que se verían posteriormente en clase. También hubo exposición de los temas por parte del docente, solución de preguntas teóricas y ejercicios a cargo de los estudiantes asesorados por el docente; desarrollo de proyectos por parte de grupos de cuatro estudiantes que debían presentar avances escritos cada mes y la sustentación respectiva y, al finalizar el semestre, exponer el proyecto en físico y entregar un informe en forma de artículo.

Con el grupo G2 se realizó una intervención por medio de unidades didácticas que contenían, además de lo realizado con el grupo G1, la incorporación de actividades de aprendizaje diseñadas teniendo en

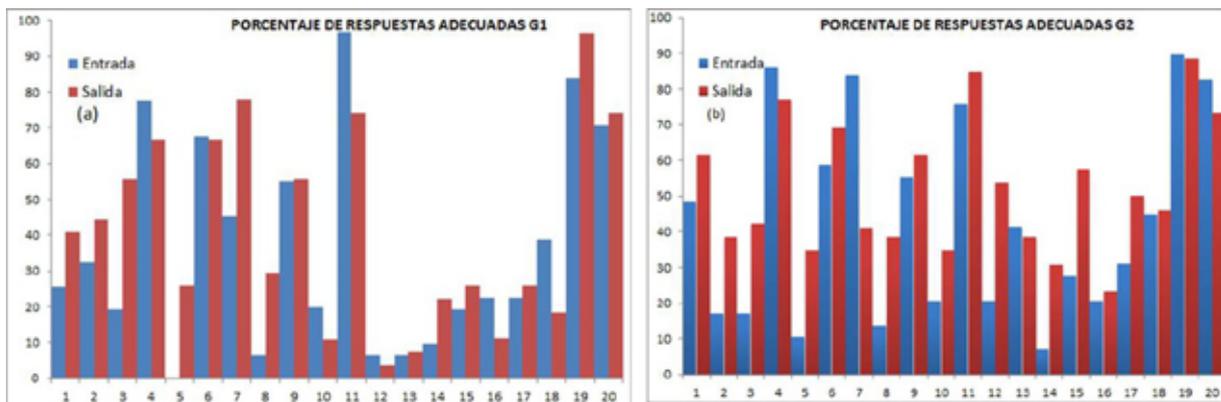
cuenta las dificultades evidenciadas en el análisis de los resultados del test de entrada-salida para el grupo G1. La unidad didáctica para el tema de cinemática constó de cuatro tipos de actividades de aprendizajes: de reflexión, conceptualización, experimentación y aplicación, teniendo en cuenta la teoría de estilos de aprendizaje propuesta por Kolb (1984). En cuanto a las actividades de reflexión se hicieron dos: el análisis de algunos videos guiados por preguntas puntuales planteadas por el docente, para realizar antes de la clase; y la discusión grupal en clase sobre las diferencias y equivalencias entre los conceptos de velocidad y aceleración, para lo cual debían desarrollar un cuadro comparativo teniendo en cuenta el trabajo realizado anteriormente con los videos. Las actividades de conceptualización fueron de dos tipos. Uno, el análisis completo y juicioso de un mismo gráfico según los siguiente tres parámetros: primero, como si este fuese de posición, segundo como si fuese de velocidad y tercero como si fuese de aceleración, con una posterior socialización en grupo. El otro fue la ejercitación mediante dos simuladores desarrollados por los docentes en un *software* libre para ayudar a la conceptualización sobre el carácter vectorial de las cantidades físicas. En relación con las actividades de experimentación se realizaron dos, una mediante

laboratorios virtuales enlazados en el aula virtual (uno en la red y otro creado por docentes del proyecto) para los cuales se elaboró una guía; otra en laboratorios reales desarrollados en el laboratorio de física de la UAM y apoyados en el manual de laboratorio elaborado por docentes del proyecto. Las actividades de aplicación constaron del desarrollo y la presentación de la primera fase del proyecto final, que se planteaba desde el comienzo del semestre, el cual debía dar cuenta de la aplicación de las cantidades cinemáticas en ese proyecto en particular.

## Resultados y discusión

**1. Análisis general:** en la figura 1a se presentan los resultados obtenidos con la aplicación del test antes y después de la instrucción en el G1. De acuerdo con estos resultados, teniendo en cuenta sólo las respuestas correctas, se evidencia una evolución en el 65 % de las preguntas. Además, es importante anotar que sólo en el 40 % de las respuestas dadas en la segunda aplicación del test se encuentran porcentajes de acierto que sobrepasan el 50 %. Sería deseable que este porcentaje fuera superior después de un proceso de enseñanza aprendizaje.

Figura 1. Resultados generales para a) G1 b) G2



En forma similar, en la figura 1b se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del test antes y después de la instrucción en el G2. De acuerdo con estos resultados se observa que hay evolución en las respuestas dadas al 70 % de las preguntas; además, en la segunda aplicación del test, en el 55 % de preguntas, se supera el 50 % de acierto, lo cual es mejor que lo acontecido en el G1 pero están por debajo de lo deseable, que sería que en la totalidad

de las preguntas se lograran aciertos por lo menos del 50 %.

Se realizó una prueba de hipótesis para la diferencia de proporciones de respuestas correctas tanto en el test de entrada como en el de salida para ambos semestres. Aunque en esta prueba sólo se tienen en cuenta las respuestas correctas, es importante anotar que las opciones consideradas no correctas, se presentan

ciertos grados de acierto que pueden denotar evolución conceptual, esto se tuvo en cuenta en el análisis de cada pregunta. En la tabla 1 se presentan los p-valores

obtenidos y las proporciones de acierto respecto del total de preguntas contestadas que se obtuvieron en el análisis estadístico para ambos semestres.

Tabla 1. Resultados de la prueba de hipótesis para la diferencia de proporciones

	I semestre 2013 (G1)		II semestre 2013 (G2)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Total de respuestas	620	540	580	520
Total de aciertos	219	231	223	261
Proporción	0,353	0,428	0,384	0,502
p-valor en R	0,01000		0,00011	

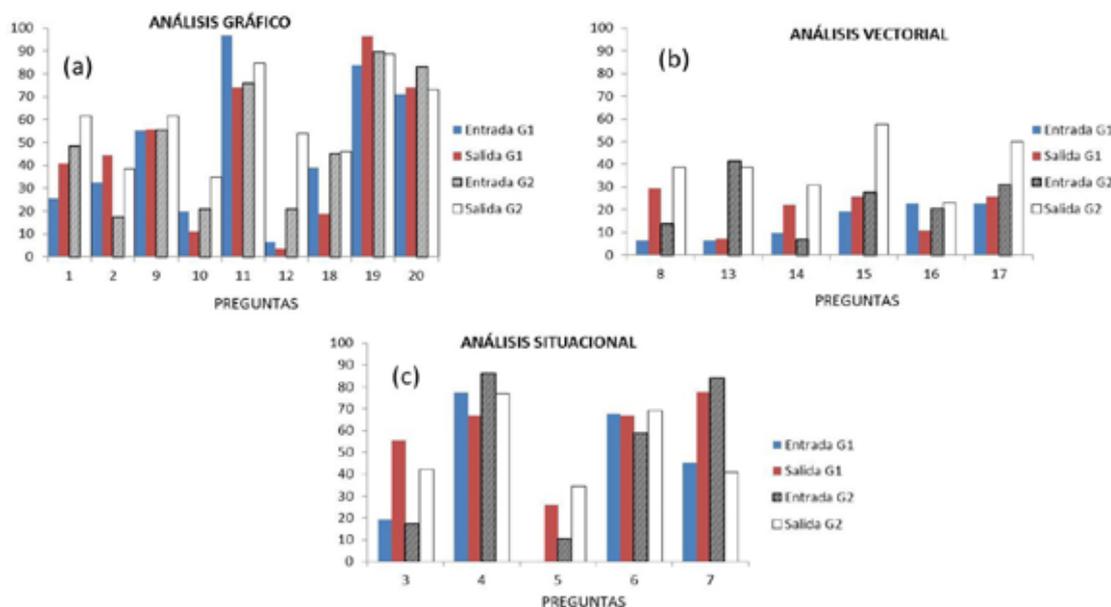
Los resultados mostrados en la tabla 1 permiten evidenciar varios hechos: primero, que de acuerdo con los p-valores se puede afirmar que la proporción de respuestas correctas en el test de entrada es estadísticamente diferente a dicha proporción en el test de salida para ambos grupos; segundo, que la proporción de aciertos en la aplicación final es mayor que en la inicial en ambos semestres; tercero, que al analizar la diferencia entre ambas proporciones para cada grupo se encuentra un aumento de un 0,075 en el G1 y un 0,118 en el G2. Los anteriores resultados indican que hay evidencia de que la intervención didáctica en ambos casos fue influyente en el proceso de aprendizaje, pero fue más significativa en el G2.

preguntas de las categorías previamente definidas, en cuanto a la aplicación del test antes y después de la instrucción en ambos semestres.

En la figura 2a aparecen los resultados para la categoría análisis gráfico que, en general, es la que presenta mayores porcentajes de acierto en las respuestas tanto antes como después de la intervención, lo cual era de esperarse ya que es un tema que los estudiantes vienen trabajando regularmente en sus cursos de matemáticas básicas y cálculo y en las instrucciones previas de física. A pesar de ser la categoría con mejores resultados, aún permanecen ideas previas que no tienen mucho que ver con las concepciones científicas respecto de los conceptos de posición, velocidad y aceleración, como se mostrará más adelante en el análisis de algunas preguntas.

**2. Análisis por categorías:** en las figuras 2a, 2b y 2c se presentan los resultados obtenidos para las

Figura 2. Resultados para G1 y G2 en las categorías de análisis (a) gráfico (b) vectorial y (c) situacional



Del estudio de los resultados de esta categoría para el G1 se encontró, entre otras cosas, lo siguiente: los estudiantes analizaban indistintamente los tres gráficos ya que no reflexionaban sobre a qué cantidad física correspondía cada eje; si bien tenían claro que cualquier línea horizontal indica que una cantidad física permanece constante no siempre acertaban cuál de ellas era; su nivel de abstracción es bajo ya que no son eficientes en la extracción de información de una cantidad física a partir del gráfico de otra. Estas conclusiones evidenciaron la necesidad de generar nuevas actividades de aprendizaje que dieran cuenta de este componente gráfico. Por tal razón se diseñaron e implementaron con el G2.

En el G2 aumentó el porcentaje de aciertos para la mayoría de las preguntas, excepto para las 19 y 20, que involucraban no sólo el componente gráfico sino el vectorial; esto puede deberse a una reacomodación de conceptos y a que al empezar a relacionar las categorías entre sí, se generan algunos desaciertos momentáneos que en últimas deberían llevar a una mejor apropiación de los conceptos.

En la figura 2b se presentan los resultados para la categoría análisis vectorial, que presenta el menor porcentaje de aciertos tanto antes como después de la intervención de aula. Esto podría deberse a que, en general, los estudiantes no están habituados al manejo vectorial de las cantidades físicas y por lo tanto es un aspecto en el que se hace más difícil lograr un cambio conceptual.

Los análisis de los resultados de esta categoría para el G1 evidencian que aunque hay una evolución en las respuestas a la mayoría de las preguntas, es claro que el análisis vectorial sigue siendo un tema que causa confusión y dificultad en su manejo y que requiere sin duda más tiempo y repetición para asimilarlo. De los análisis anteriores, apoyados en los bajos porcentajes de acierto, en esta categoría se llegó a la conclusión de que era necesario diseñar nuevas actividades de aprendizaje para favorecer la comprensión del carácter vectorial de las cantidades cinemáticas. Las actividades diseñadas consistieron en simuladores enlazados en el aula virtual con preguntas orientadoras que llevaban a los estudiantes a cuestionarse y analizar las cantidades físicas desde su carácter vectorial,

estas actividades fueron posteriormente empleadas con el G2.

En cuanto a los resultados del G2 se observa una mejor evolución en comparación con el G1. De hecho, deja ver que las actividades diseñadas favorecieron la incorporación del carácter vectorial de las cantidades de posición, velocidad y aceleración. Por lo tanto, se establecen pautas claras para continuar en el diseño e implementación de actividades de aprendizaje en busca de mejores logros.

En la figura 2c se presentan los resultados para la categoría análisis situacional, que constaba de tres tipos de preguntas. Por un lado, estaban las preguntas P5 y P6, que involucraban el carácter vectorial de la velocidad y la aceleración, respectivamente; por otro, las preguntas P3 y P4 que hacían relación sólo a las magnitudes de estas mismas cantidades físicas, y por último, la pregunta P7 que era de respuesta sí o no y debía ser justificada.

Se encuentra que la respuesta más adecuada en las preguntas P5 y P6 tienen un nivel más bajo de elección que en las P3 y P4, respectivamente. Lo anterior está de acuerdo con lo que se evidencia en el análisis de la categoría vectorial, es decir, se les hace más difícil incluir el carácter vectorial de las cantidades físicas aun cuando conozcan su magnitud.

Para analizar los porcentajes de evolución en cada categoría se realizó una prueba T pareada para las diferencias de los porcentajes entre los resultados de la prueba de salida y entrada para cada categoría en ambos semestres. Para ello se definió:

Variable 1 ( $V_1$ ): diferencia entre los porcentajes entra salida y entrada para el G1

Variable 2 ( $V_2$ ): diferencia entre los porcentajes entra salida y entrada para el G2

$\bar{V}_1, \bar{V}_2$ : Medias de las variable  $V_1$  y  $V_2$ .

En la tabla 2 se presentan las medias muestrales y los valores-p tanto para la hipótesis de homocedasticidad (pHomVar) como para la diferencia de medias (p-valor) obtenidos en la prueba T pareada.

Tabla 2. Prueba T pareada para detectar las diferencias entre las variables  $V_1$  y  $V_2$ .

Categoría	$\bar{V}_1$	$\bar{V}_2$	pHomVar	p-valor
Gráfico	-1,22	9,74	0,7964	0,0970
Vectorial	5,50	16,20	0,8209	0,1743
Situacional	17	18,78	0,8790	0,8934

Es importante anotar dos aspectos: primero, de acuerdo a los valores (pHomVar) para las tres pruebas realizadas se cumplen los supuestos de homogeneidad de varianzas; esto es importante porque la prueba T para igualdad de medias usada tiene como supuesto la homocedasticidad. Segundo, se ha tomado un alfa de 0,1 lo cual es aceptable ya que se trata de procesos de enseñanza aprendizaje en los cuales, debido a la gran cantidad de variables por tener en cuenta, no hay necesidad de que el máximo riesgo admisible de rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, siendo verdadera, sea tan estrictamente riguroso.

De acuerdo con los p-valores, se observa que las medias de la categoría análisis gráfico son estadísticamente diferentes. Por el contrario, las categorías análisis vectorial y análisis situacional son estadísticamente iguales; aunque por su p-valor es mucho más probable la igualdad de medias en el análisis situacional que en el vectorial. Lo anterior indica que la categoría que presentó más evolución al comparar ambos semestres fue la de análisis gráfico, lo cual puede explicarse en que las actividades de aprendizaje implementadas en el G2, orientadas a buscar mayor evolución conceptual en este sentido, lograron su objetivo.

La categoría análisis vectorial, aunque no logra pasar el alfa designado para presentar diferencia

estadística de medias, está cerca de hacerlo; esto puede deberse a que, aunque se han realizado actividades de aprendizaje tendientes a ayudar a los estudiantes en su proceso de aprendizaje, hay una dificultad manifiesta por ellos mismos en el manejo vectorial de las cantidades cinemáticas. Finalmente, en la categoría análisis situacional (relacionada con caída libre, tema que viene trabajando los estudiantes desde su bachillerato) se presentan dos situaciones: una, la igualdad de medias, que puede explicarse ya que las actividades de aprendizaje orientadas a lograr la evolución conceptual en esta categoría no difirieron mucho en ambos semestres; y la otra, que es en la que se presentan las mayores diferencias en los porcentajes de acierto. Esto deja en evidencia que es necesaria la repetición de los conceptos a lo largo del tiempo para lograr un cambio conceptual que en últimas se da en forma paulatina.

### Análisis de algunas preguntas

A continuación se presentan los resultados para las preguntas 3 y 5 de la categoría análisis situacional y la 12, que corresponde a la categoría análisis gráfico con el fin de ilustrar como se realizaron los análisis a cada pregunta en particular. El enunciado de las preguntas 3 y 5 se muestra en la figura 3.

Figura 3. Enunciado preguntas 3 y 5

Dos niños juegan a lanzarse bombas con agua, a través de una ventana en el interior de un edificio (no se tiene en cuenta la resistencia del aire), uno se encuentra en el quinto piso (Juan) y el otro en el primero del mismo edificio (Pedro). El movimiento de las bombas es rectilíneo. Con base en este enunciado responda:

**P3:** ¿Qué le sucede a la magnitud de la aceleración de las bombas a medida que van subiendo?:  
 A) Aumenta B) Disminuye C) Permanece constante D) Vale cero (E) Disminuye y después aumenta

**P5:** ¿Cuánto vale la aceleración de las bombas en el punto más alto de la trayectoria?:  
 A) Cero B) g C) -g D) mg E) No puede saberse con esta información

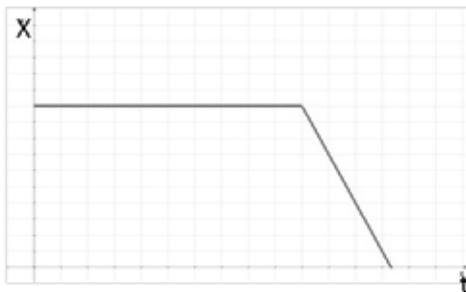
La opción de respuesta más adecuada para la P3 es la C (permanece constante), seleccionada en ambos semestres por menos de la quinta parte de los estudiantes, cerca del 80 % evidenció la creencia de que la magnitud de la aceleración de un cuerpo en caída libre varía. Este hecho llama la atención ya que es uno de los movimientos más estudiados a lo largo de todos los años de colegio. Un alto porcentaje de los estudiantes (más del 50 % en la prueba de entrada y del 40 % en la de salida) considera que la aceleración disminuye a medida que el cuerpo asciende; en primera instancia se podría pensar que esto tuviera que ver con lo que han aprendido sobre la disminución de la aceleración gravitacional cuando un cuerpo se aleja de la atmósfera terrestre, es decir, a grandes alturas pero no para movimiento de cuerpos en alturas relativamente pequeñas, en cuyo caso se considera prácticamente constante; por tanto esta opción no sería realmente incorrecta. Pero al revisar la respuesta dada a la P5 se observa que más del 70 % (para ambos semestres) consideran que la aceleración vale cero en el punto más alto de la trayectoria, lo que

muestra que no era eso lo que tenían en mente, sino que se presenta una idea previa de que la aceleración disminuye a medida que el cuerpo asciende y vale cero en el punto más alto justo cuando empieza a descender, dejando ver que confunden el concepto de aceleración con el de velocidad. En la segunda aplicación del test se encuentra un aumento en la opción más adecuada y disminución en la opción que se escogió más inicialmente. Se logra un avance conceptual importante pero se evidencia que es necesario generar más actividades de aprendizaje ya que persiste la idea previa en un alto porcentaje de los estudiantes.

La pregunta 12 y sus opciones de respuesta se muestran en la figura 4; la respuesta más adecuada a esta pregunta es la opción D. La opción A pretendía explorar la creencia de que un gráfico posición-tiempo es similar a una curva de trayectoria; la opción B se proponía encontrar si trabajan los gráficos posición-tiempo y velocidad-tiempo indistintamente, y la opción C es una mezcla de los dos planteamientos A y B.

Figura 4. Pregunta 12 de la categoría análisis gráfico

P12: El gráfico posición vs tiempo ( $X$  vs  $t$ ) mostrado en la figura describe el movimiento de un motociclista como una función del tiempo. De acuerdo a la misma, seleccione la opción que mejor explique dicho movimiento.



- A. El motociclista se mueve por una superficie plana, luego baja una colina y finalmente se detiene.
- B. El motociclista se mueve con velocidad constante en el primer tramo luego frena lentamente hasta detenerse.
- C. El motociclista se queda quieto durante un tiempo y luego baja por una colina.
- D. El motociclista se queda quieto durante un tiempo y luego se desplaza con velocidad constante.
- E. Otra ¿Cuál?

Para el grupo G1 se observó que antes de la instrucción la opción correcta fue la menos seleccionada con un 6,5 %; la opción B se seleccionó en un 48,4 %, lo cual mostró que confundían los gráficos  $x$  vs.  $t$  con  $v$  vs.  $t$ ; las opciones A y C las escogieron en un 22,6 % y 6,5 %, respectivamente, lo que corroboró que los estudiantes confundían los gráficos  $x$  vs.  $t$  con la trayectoria del movimiento. Después de la instrucción se observa con preocupación que la respuesta correcta baja en porcentaje (3,7 %) y las opciones B y C aumentan mostrando que si bien están mejorando en el análisis de los gráficos  $x$  vs.  $t$  y lo

confunden menos con la trayectoria del movimiento, aún lo analizan como si fuera un gráfico de  $v$  vs.  $t$ . Esto podría deberse en parte a la falta de actividades que potencien al análisis de gráficos de variables físicas y también al hecho de que los estudiantes al confrontar la idea que traían con la instrucción dada se toman tiempo en recomodarla.

Para el grupo G2 se observa antes de la instrucción una mayor selección de la respuesta correcta, 20,7 %, pero de igual manera que en el grupo G1, las opciones A, B y C presentan valores de elección considerables

(13,8 %, 48,3 % y 17,2 % respectivamente), es claro que ahora el mayor obstáculo es analizar el gráfico  $x$  vs.  $t$  como uno  $v$  vs.  $t$ . Después de la instrucción se observa una gran mejoría en la elección de la respuesta correcta (53,8%), debido en parte a que para este grupo se realizaron actividades de aprendizaje dentro de la unidad didáctica orientadas a mejorar y reforzar el análisis e interpretación de gráficos de variables físicas.

### Análisis de eficiencia de los procesos de instrucción

Se realizó un análisis de eficiencia empleando un modelo DEA para cada uno de los procesos de enseñanza aprendizaje llevado a cabo con cada grupo; para ello se definieron dos variables de entrada y una de salida, así:

- VE1: la variables de entrada 1 fue el inverso del porcentaje de aciertos a la entrada en cada semestre. Se tomaron los inversos ya que estos representan de alguna forma la dificultad para lograr una mejora en el aprendizaje; es decir, cuanto mayor es la entrada se está más arriba en la curva de aprendizaje y lograr un aumento en ella será más difícil que cuando se está más abajo.

Para el modelo DEA esto indica que si con menores entradas se logran buenas salidas, se debe a que el proceso es más eficiente.

- VE2: la otra variable de entrada es la suma de los porcentajes de respuestas incorrectos. Un valor alto es un inconveniente para la eficiencia; es más difícil cambiarles el pensamiento a tantos individuos.
- VS: la variable de salida es la ganancia, es decir la diferencia entre los porcentajes de acierto a la salida y a la entrada en cada semestre.

El modelo usado fue un CCR orientado a las entradas, y se aplicó a todas las preguntas excepto la séptima, de respuesta sí o no. Los promedios de eficiencia para cada categoría se presentan en la tabla 3.

Se encontró un promedio de eficiencia para el proceso llevado en el G1 de 0,1591 y de 0,3223 para el G2 y que para las tres categorías se logró mayor eficiencia en el G2. Por otra parte, en 13 de las 19 preguntas la eficiencia fue mayor para G2, en 4 fue mayor para el G1 y en 2 la eficiencia fue cero. Esta última se da cuando la ganancia en proporción de respuestas acertadas es negativa. De acuerdo con estos resultados, se puede afirmar que la intervención de aula realizada en el G2 fue más favorable para el aprendizaje de los estudiantes en las tres categorías.

Tabla 3. Resultados en el análisis de eficiencia de los procesos

	Promedio de eficiencias por categoría					
	Situacional		Gráfico		Vectorial	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Promedio	0,174300	0,313100	0,221800	0,325722	0,081417	0,328183
Ganancia	0,138800		0,103922		0,246767	

A continuación se incluyen los análisis bayesianos realizados a cada categoría del G2, en los cuales se encontró mayor eficiencia con el fin de validar estos resultados. La diferencia de este análisis y el realizado mediante la prueba T pareada es que en el anterior se comparan parámetros específicos basados en los valores esperados vistos en un periodo pasado. El análisis bayesiano lo que refleja es una estimación de una proporción vista como variable que podría dar distintas proporciones de éxitos en varios periodos futuros, en los que estas proporciones siguen una distribución de probabilidad.

En la tabla 4 se muestra una estimación bayesiana de las distribuciones de probabilidad de las proporciones, dadas unas respuestas positivas en las muestras; estas proporciones  $\theta|Y$  se distribuyen con una función de densidad beta. Se muestran además los valores esperados de estas proporciones en cada categoría. El análisis evidencia un mayor alcance en la proporción de éxitos en la categoría análisis gráfico; le sigue la categoría análisis situacional y por último con menor valor esperado en la proporción de éxitos la categoría análisis vectorial.

Los resultados anteriores permiten predecir escenarios futuros, como el caso en que se diera una proporción mayor o menor de aciertos en una nueva intervención, lo cual no implicaría que el proceso haya sido mejor o peor, sino que se está dando un valor posible de la variable aleatoria. Lo anterior quiere decir que un verdadero mejoramiento se evidenciaría en un cambio de los parámetros de la distribución de probabilidad y no necesariamente en un cambio en la distribución, y en un valor esperado mayor con diferente varianza.

Al introducir actividades de aprendizaje bien diseñadas e intencionadas se logran avances significativos en la evolución conceptual de los estudiantes, con lo cual queda claro que la evolución es mayor para las categorías análisis gráfico y situacional, que corresponden a las de mayor instrucción en el tiempo, pero también se logra evolución en la categoría análisis vectorial que aunque se les dificulta más resulta favorecida por las actividades de aprendizaje.

Tabla 4. Resultados de los análisis bayesianos

Categoría	Distribución a priori	Distribución a posteriori	E( $\theta Y$ )	
			Entrada	Salida
Vectorial	$\theta \sim \text{Beta}(3,271,6,3)$	$\theta y \sim \text{Beta}(y+3,271,n-y+6,3)$	0,2411	0,3942
Situacional	$\theta \sim \text{Beta}(8,91,8,6)$	$\theta y \sim \text{Beta}(y+8,91,n-y+8,6)$	0,3625	0,4536
Gráfico	$\theta \sim \text{Beta}(14,56,12,1)$	$\theta y \sim \text{Beta}(y+14,56,n-y+12,1)$	0,5095	0,5968

## Conclusiones

Las conclusiones esenciales de este trabajo tienen que ver con tres aspectos básicos: primero, la detección de los obstáculos de aprendizaje más relevantes para el aprendizaje de los conceptos cinemáticos; segundo, la eficiencia de los procesos de aprendizaje seguidos, y tercero, la importancia de los análisis estadísticos en la mejor comprensión de los resultados de esta investigación.

De los análisis anteriores se encontró que algunos obstáculos que presentaron los estudiantes para el aprendizaje de la cinemática fueron: la inmediatez en la lectura, ya que cuando encuentran el término “constante” se centran en él sin diferenciar la cantidad física de la que se está hablando; establecer diferenciación entre los conceptos aceleración y velocidad; la incorporación del carácter vectorial de las cantidades físicas posición, aceleración y velocidad en los análisis cuando están habituados a hacerlo sin tenerla en cuenta; confusión entre los movimientos rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente acelerado, lo cual está unido a los conceptos de aceleración y velocidad; presentan un bajo nivel de abstracción, lo cual queda evidenciado en el deficiente manejo de los gráficos aceleración tiempo y velocidad tiempo cuando se trata de extraer

información de una variable partiendo del gráfico de la otra; el concepto de aceleración es más abstracto y por lo tanto menos comprensible.

Se siguieron dos procesos de aprendizaje, de los cuales el que se siguió con el G2 incluía actividades de aprendizaje, diseñadas y pensadas con un objetivo específico buscando mejorar aspectos detectados en el estudio de ideas previas del G1. Este segundo proceso fue más eficiente que el del G1 y las actividades de aprendizaje lograron el objetivo para el cual fueron diseñadas. Se establecieron pautas claras para continuar diseñando e incorporando más actividades de aprendizaje y dando el tiempo y la prioridad que éstas requieren para que puedan lograrse avances significativos en los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Es claro que la simple repetición por parte de los docentes no es suficiente y que son los mismos estudiantes, guiados por ellos, quienes deben descubrir sus debilidades y trabajar para superarlas.

Por medio de las pruebas T pareadas, igualdad de proporciones y el análisis bayesiano se ha mostrado la influencia que tiene la intervención didáctica realizada para mejorar la apropiación por parte de los estudiantes de los conceptos de cinemática en los cursos de física mecánica. Las pruebas T pareadas e igualdad de proporciones permitieron identificar diferencias

significativas entre el grupo G1 y el G2; igualmente lo hizo el análisis bayesiano, que además permitió obtener un modelo matemático para la proporción

de aciertos en el test realizado. Este modelo podría usarse para pronosticar, simular o hacer asociaciones posteriores con otras nuevas variables.

## Referencias

- Alonso, C., Gallego, D. & Honey, P. (1994). *Los estilos de aprendizaje. Procedimientos de diagnóstico y mejora*. (6.ª ed.) Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognitivo*. México: Editorial Trillas.
- Camarazza, A., McCloskey, M. & Green, B. (1981). Naive beliefs in 'sophisticated' subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, pp. 117-123.
- Christensen, R., Johnson, W., Branscum, A. & Hanson, T., (2011). *Bayesian ideas and data analysis*. EE. UU.: CRC Press.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, pp. 66-71.
- Cooper, W., Seiford, L. & Tone, K., (2007). *Data envelopment analysis. A comprehensive text with models, applications, References and DEA-solver software*. Kluwer Academic Publisher.
- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela*, 23, pp. 33-42.
- Gómez, G. J. A. & Insausti, T. M. J. (2004). Un modelo para la enseñanza de las ciencias: análisis de datos y resultados. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, pp. 1-20.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations-models, propositions and images-used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 6, pp. 711-724.
- Grizales, M. A., Bermeo, D., Agudelo, J. M. & Sánchez, N. (2002). Preconceptos y conceptos erróneos acerca de las leyes del movimiento y sus aplicaciones en docentes de educación media que enseñan física en el departamento del Caquetá. *Revista Colombiana de Física*, 34, pp. 529-531.
- Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara, R., (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Guanajuato, México: Mc Graw Hill.
- Halloun, I. A. y Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, pp. 465-467.
- Harres, J. B. S. (2005). La física de la fuerza impresa como referente para la evolución de las ideas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso, pp. 1-5.
- Hestenes D. & Wells M. A Machines Baseline Test. *The Physics teacher*, 30, pp. 159-166.
- Hestenes D., Wells M. & Swackhamer G. (1992) Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, pp. 141-158.
- Kolb, D.A. (1984). *Experimental learning: experience as the source of learning and development*. New Jersey: Prentice-Hall.
- McDermott, L. C. (1997). Bridging the gap between teaching and learning: the role of research. *AIP Conference Proceedings*, 399, pp. 139-165.
- Posner, G. J, Strike, K. A, Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *SCI Education*, 66, pp. 211-227.
- Pozo, J. I. y Gómez, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid Ed. Morata.
- Reif, F. & Larkin, J. H.(1991). Cognition in scientific and everyday domains: comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Education*, 28, pp. 733-760.
- Sebastiá, J. M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp.161-169.
- Torres Santomé, J. (1998). Elaboración de unidades didácticas integrales en Globalización e interdisciplinariedad: el curriculum integrado, Madrid: Morata. pp. 220-264.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. & Ye, K., (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Education.
- Thornton R.K. & Sokoloff D.R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: the force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *Am. J. Phys*, 66, pp. 338-352.
- Wandersee, J., J. Mintzes, & J. Novak. (1994). *Research on alternative conceptions in science. In handbook of research on science teaching and learning*, ed. D. Gabel. New York: Simon & Schuster Macmillan.

## Sobre los Autores

---

### **Francy Nelly Jiménez García.**

Ing. Química, Esp. En Computación para la docencia. M Sc. En Física. Dra en Ingeniería. Profesor Titular Universidad Autónoma de Manizales. Docente Catedrático Titular Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. [francy@autonoma.edu.co](mailto:francy@autonoma.edu.co)

### **Jairo de Jesús Agudelo Calle**

Ing. Químico, Esp. En Computación para la docencia. M Sc. En Física. Profesor Asociado

Universidad Autónoma de Manizales. Docente Catedrática Asociado Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. [jdjac@autonoma.edu.co](mailto:jdjac@autonoma.edu.co)

### **Jhon Jairo Vargas Sánchez.**

Ing. Industrial. M Sc en Investigación operativa y estadística. Profesor Asociado Universidad Autónoma de Manizales. Colombia. [jairo@autonoma.edu.co](mailto:jairo@autonoma.edu.co)

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.