

## INSTRUCCIÓN DEL PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN A ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MEDIANTE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA DE VIDEOS

### *TEACHING OF THE PRINCIPLE OF SUPERPOSITION IN ENGINEERING STUDENTS' THROUGH A VIDEO TEACHING SEQUENCE*

Luis H. Barbosa y José O. Organista

Universidad Central, Bogotá, (Colombia)

#### Resumen

La composición de movimientos constituye una herramienta conceptual relevante para interpretar el movimiento de partículas. Su apropiación en comunidades de aprendizaje de la física resulta un problema por las ideas previas de los estudiantes como la de “influencia de una componente de movimiento en la otra”. Con el fin de asumir esta problemática se ha planteado un proyecto en el que se interviene una población de 86 estudiantes de ingeniería que cursan la asignatura física mecánica. El marco del proyecto está orientado por el aprendizaje activo de la física y usa una secuencia didáctica basada en videos en cámara lenta, lo que permite hacer observaciones detalladas y controladas de los eventos en estudio. Para monitorear la evolución del aprendizaje se usa un test de selección múltiple de 26 ítems, algunos elaborados por el grupo de investigación y otros tomados del test Force Concept Inventory (FCI). Reconociendo los obstáculos cognitivos de los estudiantes sobre el movimiento rectilíneo uniforme, el movimiento acelerado y la composición de éstos se diseña la secuencia didáctica. La metodología de investigación utilizada es la de pretest/postest; la intervención consiste en llevar a cabo seis sesiones de clases de manera dialógica entre profesor y estudiante utilizando la secuencia de videos. El análisis de los datos se hace por medio de la ganancia media de Hake, el índice de Bao y los vectores de evolución de Bao, estadísticos ampliamente reconocidos en el campo de la física educativa.

**Palabras claves:** principio de superposición, principio de independencia de movimientos.

#### Abstract

We present results about teaching the Galileo's principle of superposition through a video teaching sequence in populations of learning physics of engineering. The sequence focuses on demonstration experiments videos whose actuation allows an appropriate setting for educational practice with the

advantages offered the video as slow motion, stop, replay and observe details that at first glance not be observed. The evolution of learning was measured with a test of 26 items was applied before and after the instruction. We calculate the Hake's gain, Bao's concentration factor and Bao's evolution vectors.

**Keywords:** superposition principle, principle of independence movements.

## Introducción

El escaso aprendizaje de conceptos de la física luego de una enseñanza tradicional ha sido investigado desde hace algunas décadas por la física educativa y se sintetiza en una revisión efectuada por los investigadores americanos McDermott & Redish (1999). Un resultado valioso que queda de aquellos estudios es que las preconcepciones e ideas del sentido común influyen desfavorablemente en el rendimiento de los estudiantes; además, sólo las metodología activas centradas en el estudiante logran mejores ganancias que el método tradicional de enseñanza (Clement, 1982), (Clement, 1993), (Halloun & Hestenes, 1985), (Mora & Herrera, 2009).

Para la mayoría de los estudiantes es discrepante que una bala que se dispara horizontalmente tome el mismo tiempo en caer al piso que otra que se deja caer simultáneamente desde la misma altura. En ocasiones los estudiantes consiguen apropiarse de este resultado, pero por autoridad del profesor, no porque realmente entiendan la razón del evento (Viennot, 2002). Este experimento ha sido recreado y reconstruido en el programa de televisión *MythBusters* y se consigue en dos publicaciones de Youtube. En ese programa, los presentadores ponen a prueba la certeza del hecho y lo explican didácticamente con ayuda de la cámara lenta (Rees, 2002). Pero ¿qué es lo que hace este evento impensable? ¿Cuáles son las creencias del estudiante que no permiten advertir aquella idea que Galileo conjeturó tan naturalmente como el principio de independencia de movimientos? La incompreensión de este principio en poblaciones de aprendizaje de la física se manifiesta no sólo en la medida del tiempo para ambas partículas sino en la determinación de la posición, velocidad y aceleración para las componentes vertical y horizontal de una partícula en trayectoria semiparabólica. En algunos trabajos, Hestenes et al. (1992) evidencian preconceptos que son obstáculo de aprendizaje del principio de superposición sobre la trayectoria semiparabólica que se aprecian en preguntas del test

FCI. También Sánchez et al. (1993) hacen un estudio y discuten las ideas previas en los razonamientos de los estudiantes y su incidencia en la dificultad para apropiarse y usar la composición simultánea de los movimientos uniforme rectilíneo (mur) uniforme acelerado (mua) en situaciones de movimiento semiparabólico y parabólico.

La anterior problemática también ha sido detectada en poblaciones de aprendizaje de la física en ingeniería y se asume el reto de hacerle frente desde dos antecedentes del acervo de conocimiento de la física educativa: la eficiencia de las metodologías interactivas y las ventajas de los ambientes digitales mediados por videos. Primero se tiene que la participación interactiva de los estudiantes logra mejorar los índices de aprendizaje (Hake, 1998). Debe entenderse aquellas estrategias de aula y fuera de ella diseñadas para promover la comprensión conceptual a través de discusiones entre estudiantes y entre estudiantes y profesores, alrededor de situaciones experimentales o material educativo adecuado, como videos y experimentos discrepantes (Barbosa et al., 2011), (2008), (2009), (2010), entre otros. Segundo, los ambientes digitales (Chang, 2004) y en particular el uso de videos para el aprendizaje (Gomez, 2010) son nuevos escenarios educativos propicios para promover una participación interactiva. Acciones que se ejecutan sobre un video tales como parar, continuar, ver en cámara lenta, retroceder, repetir, etc., permiten el trabajo colaborativo de los estudiantes y constituye un material de enseñanza y aprendizaje que cruza las fronteras del aula de clase o del laboratorio de física, siempre y cuando se gestione adecuadamente la didáctica correspondiente y se diseñen los entornos como espacios de aprendizaje.

De acuerdo con la problemática planteada y basados en los dos hechos anteriores, se formuló un proyecto de investigación en el que se planeó construir una secuencia didáctica de videos (SDV), algunos grabados en cámara lenta a 330 fps, con la posibilidad de intervenir una población de estudiantes de física en

ingeniería midiendo con un test el cambio conceptual y las características principales de la práctica educativa originada. Se conjeturó que una metodología mediada por videos podría ser una herramienta propicia para incorporar el principio de superposición de movimientos en poblaciones de aprendizaje de la física en ingeniería. En consecuencia, este artículo muestra resultados de investigación del uso de una SDV para enseñar el principio de superposición en estudiantes de ingeniería de primeros semestres de una universidad de Bogotá.

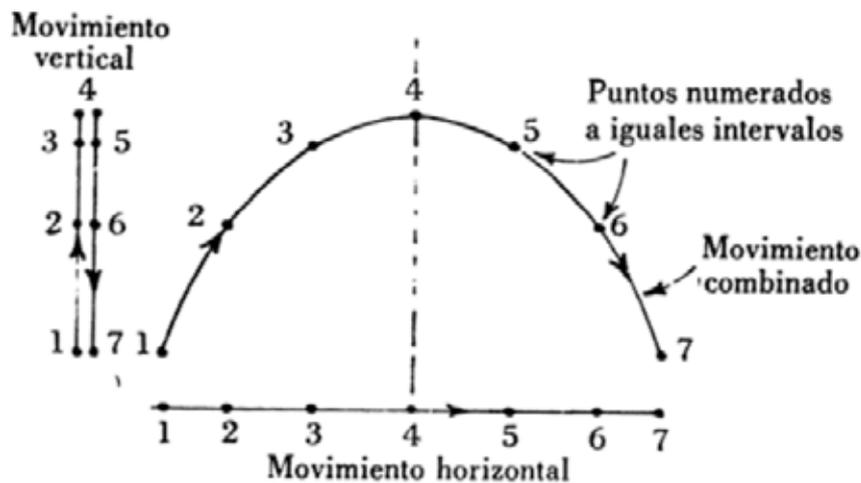
En lo que sigue se precisan los sustentos teóricos de este artículo, así como la SDV usada en este experimento educativo. Posteriormente se describen algunas ítems del test de preguntas usado para registrar el estado de conocimiento de los grupos intervenidos, luego se muestran resultados de evolución del estado de conocimiento de los grupos mediante el índice de concentración de Bao & Redish (2001) de acuerdo con cada uno de los ítems del test aplicado; así mismo, sus vectores de evolución y la ganancia de Hake (1998) para concluir sobre la efectividad de la metodología. Finalmente, se presentan las conclusiones.

## Marco teórico

### *Sobre el principio de superposición de movimientos*

Dos ideas esenciales en este artículo son el principio de superposición de movimientos (PSM) y la secuencia didáctica de videos. El PSM es una herramienta de la que se valió Galileo para analizar el movimiento de proyectiles, como ilustra March en su libro *Física para poetas* (2008). Afirma que “Galileo imaginó que el movimiento de proyectiles tenía dos componentes de movimiento independientes y no interferentes”: uno, un movimiento vertical con aceleración constante de una partícula lanzada hacia arriba; y el otro, de un movimiento horizontal a velocidad constante. La figura 1 ilustra distintos momentos numerados para una trayectoria parabólica de una partícula; al lado izquierdo (líneas verticales) y en la parte de abajo (línea horizontal) se muestra cómo estos instantes coinciden con el movimiento de dos partículas que se mueven vertical y horizontalmente. De esta manera surgen dos interpretaciones: una trayectoria parabólica se puede descomponer en dos trayectorias o componentes, una tipo *mua* y otra tipo *mur*. O al componer dos movimientos *mur* y *mua* se obtiene una trayectoria parabólica.

Figura 1. Movimiento parabólico como composición de un mur y un mua.



Fuente: Física para poetas (March, 2008).

La teoría matemática que abarca estas dos interpretaciones es la teoría vectorial de las curvas paramétricas, que toma como parámetro natural el tiempo. En esta

teoría subyacen las ideas de independencia lineal, simultaneidad y dimensionalidad; para una trayectoria parabólica se conoce que:

$$\vec{r}(t) = (v_{0,x}t)\hat{i} + \left( v_{0,y}t - \frac{1}{2}gt^2 \right)\hat{j} \quad (1)$$

En general, la descripción de cualquier tipo de trayectoria se hace mediante el vector de posición,

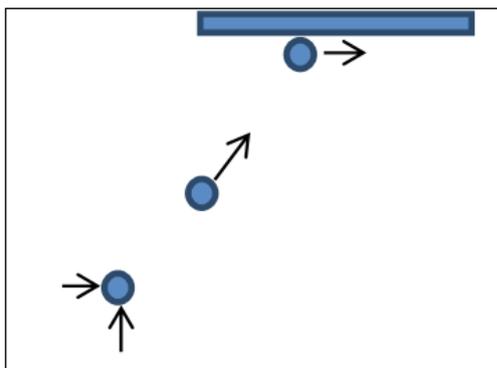
$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} + z(t)\hat{k} \quad (2)$$

Dos ideas didácticas interesantes surgen precisamente de la descripción vectorial de la superposición de movimientos. Una hace referencia a cancelar una de las componentes vectoriales. La otra a que todo vector se puede descomponer como una combinación lineal de componentes perpendiculares. Al desarrollar estas dos posibilidades en el caso de un vector de posición de dos componentes,

$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} \quad (3)$$

Si de la ecuación (3) se “anula” una de las componentes, se observaría la componente no restada. Ahora bien, ¿qué tan factible es realizar “restas de movimientos” en el laboratorio? Pues con bastante aproximación es posible. Basta interferir la trayectoria del objeto con una «regla» de madera, de balsa o de poliestireno; la regla debe orientarse en la dirección x o y, dependiendo de la componente que se quiere restar. El objetivo es realizar una colisión lo más inelástica posible en una dirección, por eso es importante el material de la regla que obstaculiza una dirección; también se recomienda utilizar una bola de billar, de acero o de cristal.

Figura 2. Resta de la componente y.

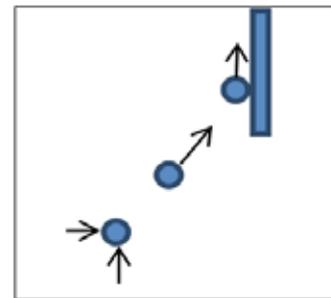


Fuente: autor

En las figuras 2 y 3 se muestra un esquema del procedimiento por seguir para una trayectoria que resulta de la composición de dos movimientos tipo mur. Sobre un plano liso horizontal se pone una esfera. Se dan dos impulsos a la esfera de manera simultánea, uno horizontal y otro vertical. Luego se coloca la regla horizontal o verticalmente sobre la trayectoria de la esfera. Se observa que ésta se mueve siguiendo el borde de la regla.

De igual manera, se puede experimentar sobre un plano levemente inclinado para disponer de una aceleración “natural” menor que la aceleración de la gravedad g de la tierra. Con este plano inclinado es posible generar trayectorias curvas semiparabólicas o parabólicas.

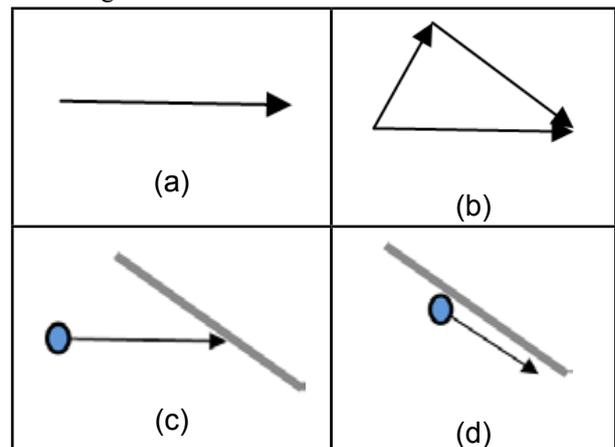
Figura 3. Resta de la componente x.



Fuente: autor

También se puede disponer de trayectorias rectilíneas aceleradas; con cada una de estas trayectorias se puede llevar a cabo la “resta de movimientos”, es decir, en cualquier lugar de la trayectoria se obstaculiza la trayectoria con la regla orientada horizontal o verticalmente. Se nota cómo la esfera sigue un movimiento sobre el borde de la regla eliminando la otra componente.

Figura 4. Proceso de resta de movimientos.



Fuente: autor

La segunda posibilidad surge de una generalización de la actividad anterior y resulta de notar que todo vector se puede descomponer en dos direcciones mutuamente ortogonales. En la figura 4 se representa la secuencia de esquemas que permiten concretar esta idea en una actividad de laboratorio. La figura 4a representa la velocidad uniforme de un objeto (flecha horizontal). La figura 4b muestra que esta velocidad se puede originar por dos impulsos iniciales mutuamente ortogonales y de intensidades adecuadas; la figura 4c muestra que una regla orientada en una de las direcciones ortogonales y que interfiera el movimiento inicial de la figura 4a resta el movimiento de la otra dirección. La figura 4d representa lo que se observaría en el momento en que la esfera choque con la regla, es decir, la resta de movimientos.

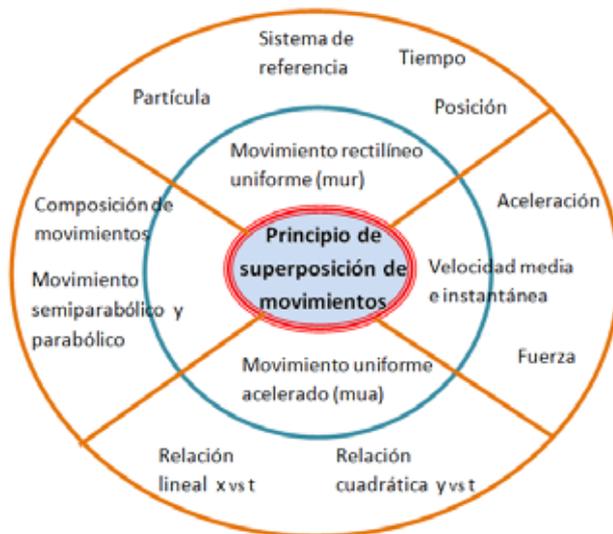
### **Definición de una secuencia didáctica de videos**

Se define una SDV como un conjunto ordenado de videos sobre uno o varios fenómenos. Es una herramienta que puede estar constituida por texto explicativo, ilustraciones, gráficas, preguntas, algunas respuestas y actividades (García et al., 1995). En esta investigación se utilizó una SDV constituida por videos a velocidad normal y en cámara lenta.

### **Secuencia y microcontenido del PSM**

Para enseñar el tema de principio de superposición de movimientos (PSM) se acordó crear tres secuencias didácticas que apuntaran a los microcontenidos de mur, mua y PSM. En el tema de mur se hicieron actividades con el fin de construir los conceptos de posición, sistema de referencia, partícula, velocidad media y movimiento uniforme rectilíneo. El tema de mua se puntualizó en el concepto de velocidad instantánea, en el cambio de velocidad con respecto al tiempo, en la relación cuadrática entre posición y tiempo de la partícula. El tema de PSM se centró en situaciones con videos en dos dimensiones. Se usaron videos en cámara lenta de una esfera sobre un plano impulsada en los ejes  $x$ ,  $y$ . Primero, sobre un plano horizontal, se superpuso mur, mur y luego mur mua inclinando el plano. La figura 5 muestra el microcontenido del principio de superposición que debió abordarse. Para este caso particular de tres secuencias correspondientes a los temas de mur, mua y PSM se han usado fotografías, videos, preguntas intercaladas, posibles respuestas, recapitulaciones y metas de aprendizaje.

Figura 5. Microcontenido estructural del PSM.



Fuente: autor

Cada una de las secuencias puede ser activada desde un enlace de internet o desde un video *beam*. La idea es que se pueda parar el video, capturar las variables y luego tabular para, por ejemplo,

determinar la rapidez de la partícula, saber si recorre espacios iguales en tiempos iguales o si avanza con movimiento acelerado (Barbosa, Ibfísica, 2014).

### **Obstáculos de aprendizaje del PSM**

El test de 26 preguntas despliega situaciones sobre la composición de los movimientos *mur* y *mua* para las trayectorias parabólicas y semiparabólicas de una partícula. Uno de los errores conceptuales de los estudiantes consiste en “no reconocer que un movimiento compuesto es resultado de movimientos básicos independientes”. Por ejemplo, el estudiante piensa que la velocidad horizontal afecta el movimiento vertical de la partícula. Este error conceptual está en concordancia con alguna pregunta del FCI según la cual el estudiante piensa que cuando la bala se lanza con gran velocidad horizontal, entonces no cae durante el trayecto sino que avanza horizontalmente sin caer (Hestenes & Halloun, 1995). Parece que cuando el estudiante considera que las dos componentes no son independientes, también generaliza que la aceleración vertical afecta el movimiento horizontal.

### **Implementación de la secuencia didáctica**

La metodología se ha implementado mediante video beam en grupos de estudiantes de Física Mecánica de la Universidad de la Salle. La experiencia se sintetiza en los siguientes pasos:

- Se aplicó el test de 26 preguntas antes de la instrucción para saber el estado inicial de conocimiento sobre el PSM en el grupo.
- Se inició con la secuencia didáctica de movimiento uniforme rectilíneo (*mur*). La clase se hizo interactiva con preguntas y participación de los estudiantes (clases dialógicas).
- Los estudiantes observaron, leyeron las preguntas, discutieron, respondieron, expusieron. En ocasiones activaron los videos, pararon, sacaron información del video, calcularon y respondieron.
- En ocasiones fue importante repetir varias veces el video para obtener información de valores como posición de la partícula para un determinado tiempo.
- En otros momentos hubo actividades para la casa, que en la clase siguiente se retomaron para hacer retroalimentación.
- Finalmente, una semana después de la instrucción se aplicó de nuevo el test de PSM con la promesa

de un bono sobre alguna de las evaluaciones principales del semestre. El test del PSM se le puede solicitar al autor principal.

### **Estadísticos de evolución del aprendizaje**

#### **La ganancia de Hake**

Es un estadístico que da cuenta de la evolución del aprendizaje de una población de estudiantes y evita el problema de comparar entre estudiantes que inician un curso mejor preparados que otros. Además, permite determinar si una metodología de enseñanza es efectiva respecto del conocimiento inicial del estudiante. Se define como la razón del aumento de una prueba preliminar (*pre*) y una prueba final (*pos*) respecto del máximo aumento posible (Hake, 1998),

$$g = \frac{\langle Puntaje_{post} \rangle - \langle Puntaje_{pre} \rangle}{100 - \langle Puntaje_{pre} \rangle} \quad (4)$$

Esta expresión representa el cambio conceptual que debe darse en una población, pues si comienza desde un estado inicial de conocimiento sobre cualquier temática, el cambio conceptual debe ser proporcional a lo que le falta a la población para ser igual al referente de consenso de cómo explica la comunidad científica.

#### **Factor de concentración de Bao**

Lei Bao y Redisch (2001), sobre un análisis cuantitativo de la forma cómo se distribuyen las respuestas de los estudiantes frente a un test de escogencia múltiple con única respuesta (MCSR), construyeron una medida que da información de esa distribución de respuestas. Definen un factor *C*, denominado factor de concentración, como una función de las respuestas de los estudiantes que toman valor en un intervalo de cero a uno [0,1], y está dado por,

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \quad (5)$$

Donde  $m$  representa el número de elecciones para una pregunta en particular,  $N$  corresponde al número de estudiantes,  $n_i$  es el número de estudiantes que han elegido la respuesta  $i$  de la pregunta. Los promedios de porcentajes de respuestas correctas para cada

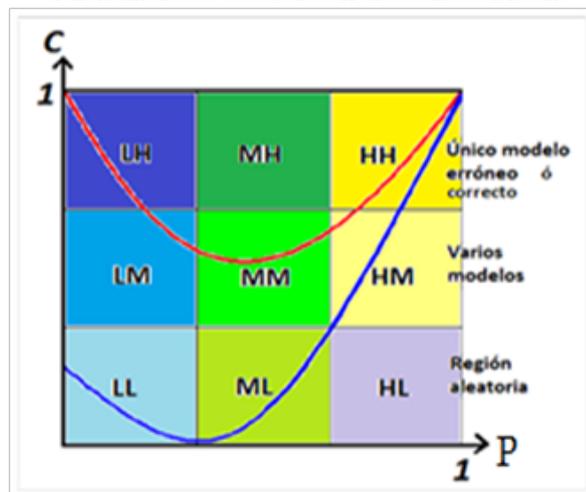
pregunta muestran la dominancia de la cantidad de modelos conceptuales de esa población.  $C=0$  corresponde a una selección al azar de respuestas;  $C=1$  indica que todos los estudiantes seleccionan la misma respuesta.

Tabla 2. Codificación de concentración propuesta por Bao.

Puntaje(S)	Nivel	Concentración(C)	Nivel
0,0-0,4	Bajo (B)	0,0-0,2	B
0,4-0,7	Medio (M)	0,2-0,5	M
0,7-1,0	Alta (A)	0,5-1,0	A

Si  $C > 0,5$  implica una alta concentración ya que más del de 60 % de los estudiantes han seleccionado la misma respuesta. Si  $C$  está entre 0,2 y 0,5 indica que la población posee dos modelos de pensamiento para seleccionar; un valor menor de 0,2 precisa una distribución de por lo menos tres modelos del estudiante o de tendencia al azar. Bao codifica y organiza esta información, de acuerdo con la tabla 2.

Figura 6. Esquema de Bao por zonas para identificar nivel de razonamiento de estudiantes frente a un test MCSR.



Fuente: Bao & Redish (2001) con adaptación del autor.

Basados en estos regímenes se puede establecer un nivel de codificación para identificar posibles modelos de pensamiento del estudiante en el aprendizaje de alguna temática de la física. Un resultado de esta codificación es que se puede construir un gráfico (figura 6) de concentración ( $C$ ) en función del puntaje promedio ( $P$ ) para cada pregunta y en

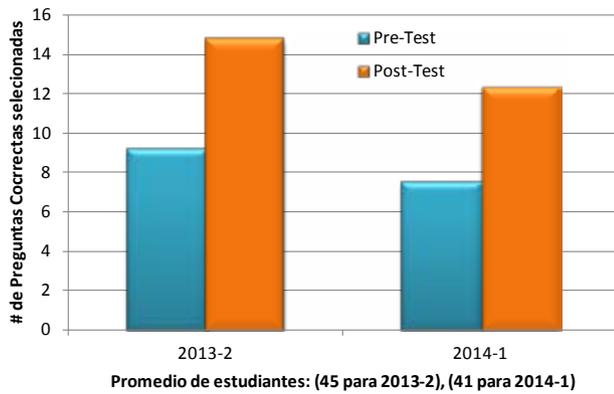
tal caso ver la evolución del grupo desde un estado inicial (pretest) hasta un estado final, después de la instrucción (postest).

## Resultados

Se intervino una población de aproximadamente 110 estudiantes; sin embargo, sólo se tuvieron en cuenta aquellos estudiantes que estuvieron en los tres momentos: pretest, instrucción y postest. Al depurar los grupos con la anterior condición, se tuvo el primero de 45 estudiantes para el segundo semestre de 2013, y 41 estudiantes para el primer semestre de 2014. Es decir, un total de 86 estudiantes. En ambos casos el test se aplicó una semana antes de la enseñanza con la secuencia didáctica de videos y algunas semanas después de la intervención. En ambos casos se dio una bonificación sobre una evaluación escrita que pesaba cerca del 20 % del total. El test se entregó en fotocopia y lo contestaron sobre unos formatos de respuestas. La mayoría de los estudiantes se tomaron cerca de 35 minutos para contestar la prueba con la recomendación de que no usaran calculadora y que respondieran de acuerdo con lo que pensaban, sin adivinar. En general se puede observar que cada estudiante contestó un mayor número de preguntas correctas en el postest que en el pretest. El promedio de preguntas contestadas correctamente para los dos grupos tanto en el pretest como en el postest es como se observa en la figura 7. Específicamente, el grupo de 45 estudiantes de 2013 segundo semestre, tuvo un promedio de correctas en pretest de 9,16 (barras en azul) y de 14,8 en postest (barras en naranja). El

grupo de 41 estudiantes primer semestre de 2014 tuvo un promedio de correctas de pretest de 7,51 (barras en azul) y de 12,37 en postest (barras en naranja).

Figura 7. Preguntas correctas de los 86 estudiantes.



En un primer tratamiento simple de datos, sobre el número de respuestas correctas contestadas se observa un ligero aumento en el postest con respecto al pretest para dos grupos de estudiantes en semestres diferentes. Es el primer indicio de

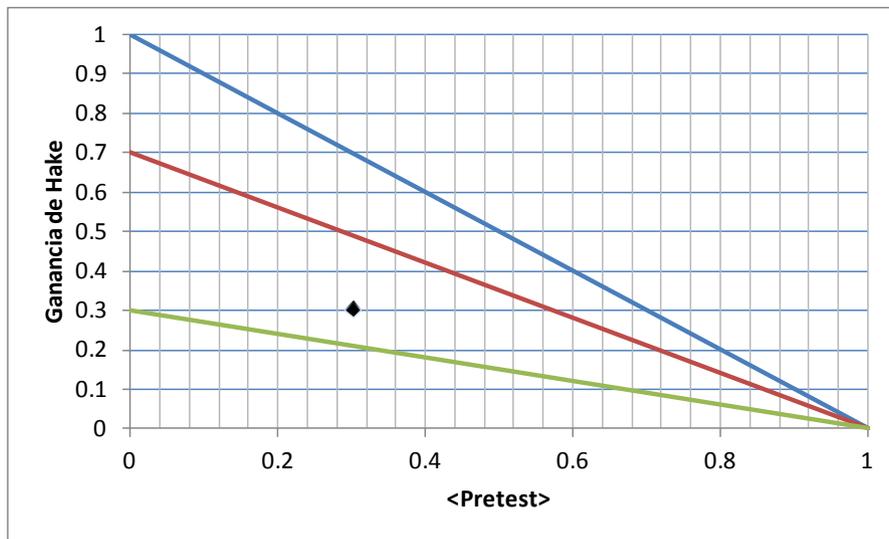
aumento de aprendizaje en la población intervenida. El histograma de la figura 7 permite vislumbrar esta idea. La mayoría de los estudiantes superaron su puntaje inicial. También se observa que en la primera intervención algunos superaron más de 20 preguntas correctas mientras que en la segunda intervención ninguno superó esta barrera.

Basados en la ecuación 4 se calcula la ganancia normalizada de Hake en función del promedio del pretest, como se precisa en la tabla 3 y se representa en el gráfico de la figura 8 con datos recogidos con el test de PSM.

Tabla 3. Estadísticos sobre población de 86 estudiantes

Estadísticos	Valor
Promedio del pretest	0,301878
Desviación estándar del pretest	0,134586
Promedio de postest	0,504472
Desviación estándar del postest	0,125032
Ganancia de normalizada de Hake	0,290199
Desviación estándar de ganancia	0,225389

Figura 8. Ganancia de Hake versus el promedio de pretest para los 26 ítems del test de los 86 estudiantes de las dos intervenciones.



Fuente: autor

Este valor de casi 0,3 de ganancia cae dentro del rango medio esperado. Esto se puede interpretar como que la metodología empleada de SDV es medio eficiente para lograr que la población intervenida

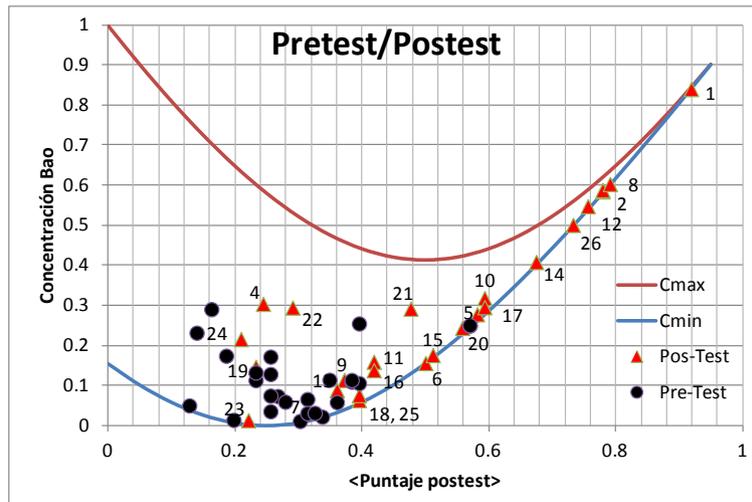
mejore su aprendizaje. Es decir, no se puede asegurar que efectivamente remueva preconcepciones, pero tampoco cae en los rangos de baja efectividad, como reporta Hake respecto de la metodología tradicional.



efectivamente la población intervenida apropie y resuelva correctamente situaciones del PSM. Las otras 13 repuestas de los 26 ítems del test PSM quedan en

la zona de azar como si la enseñanza con la SDV no hubiese originado ningún cambio conceptual en la población intervenida.

Figura 11. Índice de concentración de Bao en función del puntaje promedio para las 26 preguntas pretest/posttest del PSM. Es como superponer el gráfico 9 y 10.



Fuente: autor

Es posible que se necesiten más actividades de PSM con las que el estudiante se ejercite o simplemente son ideas del sentido común tan arraigadas que más bien deba investigarse por qué otros conceptos se pueden acomodar para generar una estructura de pensamiento coherente.

La tabla 4 da cuenta de los denominados vectores de evolución del aprendizaje de Bao. En ese caso cada pareja de valores del pretest es el origen de un vector y la pareja del posttest es el final de un vector. Cada vector está asociado con una pregunta y en este caso su cálculo surge en la ecuación 5 desde las

marcaciones del grupo completo de 86 estudiantes que participaron en el estudio de aprendizaje del principio de superposición con la SDV y que contestaron el pretest/posttest del test PSM en dos semestres diferentes. Se les llama vectores de evolución del aprendizaje por que se puede trazar una flecha desde el origen de estos en la columna (2-3) de la tabla 4 hasta el final del vector en la misma tabla de la columna (4-5). Para que tenga sentido, tales flechas podrían trazarse en el gráfico de la figura 11. Es decir, los vectores son flechas que tienen origen en la pregunta del punto negro y terminación o punta en el triángulo naranja de la figura 11.

Tabla 4. Valores explícitos de concentración-puntaje promedio para las 26 preguntas del Test PSM.

ítem	Pretest		Posttest	
	Score	C	Score	C
1	0,569767	0,249337	0,918605	0,840004
2	0,267442	0,073301	0,77907	0,58447
3	0,313953	0,065715	0,77907	0,587539
4	0,139535	0,231461	0,244186	0,303571
5	0,255814	0,035341	0,581395	0,277589
6	0,337209	0,021669	0,5	0,155793

ítem	Pretest		Postest	
	Score	C	Score	C
7	0,302326	0,011026	0,313953	0,033249
8	0,569767	0,250203	0,790698	0,602796
9	0,383721	0,109232	0,372093	0,113368
10	0,255814	0,128326	0,593023	0,318012
11	0,395349	0,105569	0,418605	0,159064
12	0,348837	0,113854	0,755814	0,547517
13	0,27907	0,059097	0,360465	0,088312
14	0,232558	0,112882	0,674419	0,408081
15	0,360465	0,058076	0,511628	0,175742
16	0,255814	0,171595	0,418605	0,137873
17	0,313953	0,030629	0,593023	0,295247
18	0,325581	0,031153	0,395349	0,063175
19	0,255814	0,074308	0,232558	0,146396
20	0,232558	0,132155	0,55814	0,243697
21	0,395349	0,254521	0,476744	0,291483
22	0,162791	0,290226	0,290698	0,294411
23	0,127907	0,049865	0,22093	0,013164
24	0,186047	0,1739	0,209302	0,215547
25	0,197674	0,013697	0,395349	0,075817
26	0,383721	0,113368	0,732558	0,500676

## Conclusiones

Se ha avanzado en caracterizar una metodología de enseñanza del principio de superposición de movimientos mediada por una SDV. Se caracteriza por ser una herramienta versátil, fácil de controlar, apropiada para la observación sistemática del fenómeno, simple de ejecutar y muy propicia para el aprendizaje por la inmersión y concentración que origina en la población en que la secuencia se ejecuta.

Se ha avanzado en entender el nexo entre la SDV y el aprendizaje de los estudiantes: es una herramienta de gran valor pedagógico por la ventaja del control sobre la información que vislumbra para el cerebro desde el punto de vista visual.

Se ha reconocido una ventaja pragmática de este enfoque. Basta un PC y un video *beam* para tener una herramienta demostrativa de eventos físicos para ejecutar con las mismas condiciones iniciales y con la ventaja del control hasta para trasladar la situación de observación y estudio a cualquier lugar, es decir, se dispone de un “experimento portátil”.

Se ha vislumbrado que la SDV brinda un escenario altamente cautivante que moviliza a estudiantes y al profesor pues origina un ambiente de inmersión que favorece el aprendizaje de un tema determinado de la física.

Queda caracterizada en gran medida una semilla de accionamiento para el profesor como una herramienta que cambiará muy adecuadamente su accionar en el aula. Es una semilla porque apenas se ha logrado experimentar con un pequeño microcontenido de la física: el principio de superposición de movimientos. En una perspectiva futura podrían seleccionarse un grupo de situaciones que provean el escenario para formar distintos tipos de pensamientos científicos pertinentes para el estudiante de ingeniería, por ejemplo, el pensamiento newtoniano, el electromagnético, el de fenómenos de fluidos, etc.

Queda un remanente de instrumentos para formular posteriores proyectos que propendan a la calidad de la educación universitaria. Hemos adquirido no sólo unos equipos sino la experiencia para filmar y editar situaciones de demostraciones experimentales discrepantes de física.

Se ha avanzado en la solución del problema de aprendizaje conceptual del PSM. Se recomienda que la secuencia no sólo posea preguntas sino también ejemplos de cómo se trabaja con la herramienta. Aunque se han podido hacer videos en las tres secuencias que afrontan los principales problemas de aprendizaje como el de no vislumbrar la velocidad instantánea, de no entender que una componente de movimiento no afecta la otra, no se han hecho secuencias para vislumbrar trayectorias de partículas desde distintos referenciales. Este problema amerita enfrentarse posteriormente ya que es clave en el entendimiento del movimiento por comunidades de aprendizaje de la física general en ingeniería, y requiere más tiempo.

Es importante llamar la atención sobre la construcción de la SDV que refiere al concepto que subyace al PSM. Particularmente, permite ir decantando su regularidad como la suma o la resta de movimientos desde dos de ellos que son básicos: por ejemplo, mur y mur originados al unísono o en momentos diferentes, mur y mua, o mua y mua. Como esta secuencia ha usado videos en cámara lenta (300 fps) es fácil que el estudiante advierta estos detalles para precisar

si es mur o mua en cada dimensión. Del mismo modo, es fácil notar la trayectoria resultante para la partícula debido al movimiento originado en cada dimensión e igualmente sencillo resulta apreciar que cada componente de movimiento es independiente de la otra y vislumbrar lo que advirtió primeramente Galileo, el principio de independencia de movimientos. Adicional a las actividades didácticas, para complementar la comprensión del PSM, mencionada anteriormente, surge la necesidad de colaboración interdisciplinar para desarrollar montajes experimentales que se puedan comercializar. Específicamente, se necesitan dispositivos electrónicos para realizar los impulsos y disponer de los valores cuantitativos de las velocidades iniciales. Igualmente, se requiere un “plano inclinado” con un sistema cartesiano grabado para cuantificar el resultado de una resta de movimientos.

## Agradecimientos

Se expresa especial agradecimiento a la Universidad Central por el apoyo en esta investigación mediante el Proyecto N.º 20301082 de 2013.

## Referencias

- Bao, L. & Redish, E. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *Am. J. Phys.*, *SI*, S45.
- Barbosa et al., L. H. (2011). El soplador mágico: un experimento discrepante en el aprendizaje de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *33*, 43091-43097.
- Barbosa, L. H. (2008). Los experimentos discrepantes en el aprendizaje activo de la física. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, *2*, 246-252.
- Barbosa, L. H. (2010). Los experimentos discrepantes como instrumento pedagógico en la enseñanza de la física. *Revista Colombiana de Física*, *42*(1), 11-15.
- Barbosa, L. H., & P., T. (2009). La compuerta mágica: descripción de un flujo discrepante en dos globos elásticos interconectados. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, *3*, 135-139.
- Barbosa, L. H., (2014). PW: lhbfísica. Taller principio de superposición. Recuperado el 19 de octubre de 2014 de <https://sites.google.com/site/lhbfísica/>
- Chang, M. (2004). Entornos de aprendizaje digitales. (Unam-Mx, Ed.) *Revista Digital Universitaria*, *5*(10), 1-26.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *Am. J. Phys.*, 66-71.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *J. Res. Sci. Teaching* *30* (10), 1241-1257.
- Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B. & Beichner, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: BEMA. *Phys. Review Special Topics-Physics Educ. Research*, *2*, 0101051-0101057.
- García et al., J. (1995). Planificación de una unidad didáctica: el estudio del movimiento. *Investigación y Experiencias Didáctica*. *13*(2), 211-226.
- Gomez, L. (2010). *A phenomenological exploration of the learning values derived from instructional short videos among adult learners [Doctor dissertation]*. (D. o. Universidad de Phoenix, Ed.) Phoenix, Arizona, USA: ProQuest.

- Hake, R. (1998). Interactive engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.*, 66(1), 64.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J. Phys.*, 53, 1043-1055.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the FCI. *The Physics Teacher*, 33, 502-506.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- McDermott, L., & Redish, E. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *Am. J. Phys.*, 755-767.
- Mora, C., & Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin American Journal of Physics Education* (3), 72-86.
- Rees, P. B. (2002). *Mythbusters*. Obtenido de Mythbusters: <http://www.youtube.com/watch?v=yIpXO7MYwT8>.
- Sánchez, J. (1993). Detección de ideas previas en cinemática utilizando la composición de movimientos. *Investigación en la Escuela*, pp. 105-116.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en Física: la contribución del sentido común*. Madrid: Machado Libros.

## Sobre los autores

---

### Luis Hernando Barbosa

Licenciado en Física (UPN), especialista en Ciencias Físicas (UN), magíster en Ciencias Físicas (UN), doctor en Ciencias en Física Educativa del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México. Ganador de la Presea Lázaro Cárdenas 2013, que cada año entrega el presidente de México como reconocimiento a la excelencia de quienes han contribuido a mejorar, mediante la ciencia, la vida del hombre y han dado prestigio tanto al IPN como a sus instituciones de origen. Profesor de Física de tiempo completo de la Universidad

Central y Catedrático de Física de la Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.  
 lhbffisica@gmail.com  
 lbarbosab@ucentral.edu.co

### José Orlando Organista

Licenciado en Física (UPN), matemático (UN), especialista en Ciencias Físicas (UN), magíster en Física (UA). Director del Grupo Física y Matemática de la Universidad Central, categoría C de Colciencias. Profesor de Física de la Universidad Central. Bogotá, Colombia.  
 jorganistar@ucentral.edu.co

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