

Diagrama semi-cuantitativo sobre la evolución del aprendizaje de un micro-contenido físico



Paco Talero^{1,2}, César Mora², Orlando Organista¹ y Luis H. Barbosa¹

¹Grupo Física y Matemática, Depto. de Ciencias Naturales, Universidad Central, carrera 5 No 21-38, Bogotá Colombia.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México D. F.

E-mail: ptalerol@ucentral.edu.co

(Recibido el 4 de Junio de 2013, aceptado el 17 de Septiembre de 2013)

Resumen

Se presenta una técnica novedosa de análisis semi-cuantitativo plasmada en un diagrama geométrico que permite estudiar la evolución temporal del aprendizaje de conceptos concretos de física durante periodos sucesivos de tiempo. Esta técnica cuantifica el grado de homogeneidad y el rendimiento del grupo en periodos sucesivos de tiempo que son organizados en un diagrama que contiene información cuantitativa y cualitativa sobre las características del aprendizaje y la instrucción impartida.

Palabras clave: diagrama, evolución temporal, enseñanza de la física, métodos de enseñanza, homogeneidad.

Abstract

We show a new semi-quantitative technique of analysis about of temporal evolution of learning of basic physics concepts. In this technique we arrange a geometric diagram with the score and the homogeneity, in this diagram we have a quantitative and qualitative information about the learning of students and the effectiveness instruction.

Keywords: diagram, evolution, physics education, teaching methods, homogeneity.

PACS: 03.65.-w, 01.40.gb, 01.40.-d

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos treinta años múltiples investigaciones en el campo del aprendizaje de la física, han venido mostrando una serie de problemas fundamentales comunes a diferentes poblaciones de un mismo país e incluso comunes a diferentes países [1, 2, 3, 4, 5] entre los problemas más destacados se encuentran: primero que las ideas naturales, preconcepciones, ideas erróneas o ideas alternativas que tienen los estudiantes no son removidas en la educación básica; segundo que los estudiantes continúan con las mismas ideas previas aún después de tomar sus asignaturas de física general en la educación superior; tercero que los estudiantes usan modelos mentales similares y erróneos a la hora de explicar un fenómeno físico y cuarto que la instrucción tradicional no tiene en cuenta las concepciones de los estudiantes ni sus características siendo de esta manera poco efectiva a la hora de formar ciudadanos con sólidos conocimientos básicos de física [1, 2].

El reconocimiento de estos problemas ha estimulado la formación de comunidades, como la Physics Education Research (PER) que busca enfrentar y proponer soluciones a este tipo de problemas [3]. Así se han concebido diversas alternativas de instrucción física como los tutoriales,

instrucción por pares y experimentos discrepantes [6, 7, 8], entre muchas otras técnicas de instrucción enmarcadas en el aprendizaje activo de la física. Por otra parte, las dinámicas de investigación cuantitativa en aprendizaje de la física han permitido construir diversos instrumentos de investigación como el FCI y TUG-K entre otros [9, 10], que son test de selección múltiple cuyas preguntas tienen distractores que sintetizan las tendencias del razonamiento común y evidencian la presencia de modelos mentales intuitivos.

La utilidad de estos instrumentos de indagación ha sido potenciada con la construcción de técnicas cuantitativas que permiten organizar los datos obtenidos y ayudan a obtener información. En la actualidad dos técnicas predominan en la literatura de investigación cuantitativa de la enseñanza de la física: el factor de concentración y la ganancia media normalizada [11, 12]. El factor de concentración permite medir la concentración C de las respuestas en las alternativas de una pregunta de selección múltiple y relacionarlas con el rendimiento o puntaje S , esta información es usada para conocer, entre otras cosas, si los estudiantes tienen modelos incorrectos o no. La ganancia media normalizada G es comúnmente usada en metodologías que evalúan mediante pre y pos-test, mide la diferencia de puntaje entre estas pruebas, tomando como base el puntaje del pre-test S_0 y del

pos-test S_f . Así mismo, en [13] se encuentra un estudio realizado sobre física introductoria que permitió caracterizar la evolución de la comprensión de los estudiantes de manera más detallada de lo que es posible a través de un pre y post-test. Las curvas de rendimiento $S-t$ encontradas en este estudio muestran que en algunos aspectos no hay cambios significativos, en otros hay decadencia, oscilación e incluso hay tendencia a la baja en algunos ítems.

De otro lado, un enfoque multidisciplinar basado en los conceptos de la sociología, psicología educativa, física estadística y ciencias de la computación ha venido desarrollando descripciones teóricas de los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula de clase con buenos resultados [14, 15, 16, 17]. Así se ha estudiado mediante modelos teóricos los resultados brindados por metodologías de instrucción como el aprendizaje colaborativo, aprendizaje social a través de internet e instrucción por pares [14, 15], entre otras. Estas ideas teóricas han explorado tanto el aprendizaje como las metodologías de instrucción y se han realizado propuestas analíticas y desarrollos mediante simulación [16, 17].

Pese al gran desarrollo de la investigación en el aprendizaje de la física, no se ha reportado en la literatura la construcción de una técnica de análisis que dé cuenta de algunas características de la evolución temporal del aprendizaje de conceptos de física elemental durante periodos sucesivos de tiempo. En este trabajo se presenta una propuesta que implementa tal técnica de análisis, para esto en la sección (2) se presentan las definiciones fundamentales que delimitan el trabajo; en la sección (3) se exponen los criterios que permiten cuantificar el concepto de homogeneidad a partir de test de selección múltiple; en la sección (4) se definen y ejemplifican los diagramas de evolución de homogeneidad (H) y rendimiento (S) del aprendizaje de un micro- contenido físico y en la sección (5) se presentan las conclusiones.

II. ALGUNAS DEFINICIONES

Las características generales de los procesos de enseñanza aprendizaje de la física son en general muy complejas y abarcan dinámicas propias a las instituciones, las directivas, así como de los profesores y los estudiantes con todas sus características psicológicas y socio-culturales. De manera que un estudio cuantitativo del aprendizaje de la física debe buscar caracterizar el aprendizaje de un concepto físico bien delimitado por parte de un grupo de estudiantes con desempeños normales y no el buscar dar cuenta de regularidades de aprendizaje individuales o el aprendizaje de temas mayúsculos de la física.

De acuerdo con lo anterior, se define el sistema en estudio como un conjunto de N_e estudiantes ($N_e > 1$) que están dispuestos en una u otra medida a aprender física, se reúnen periódicamente durante algún tiempo para interactuar entre ellos y con el profesor quien es el responsable de asignar, orientar y dirigir las diversas actividades académicas en el marco de una metodología propia, pero dentro de un referente curricular claro, preciso y en armonía con los

objetivos de una institución. Así, se entiende el sistema de estudio compuesto por estudiantes, profesor, institución y el objeto de estudio es el aprendizaje de un contenido delimitado de la física del grupo de estudiantes.

Se entiende en este trabajo micro-contenido físico como un tema particular de la física bien delimitado tanto en extensión como en profundidad que consta de matices conceptuales o núcleos conceptuales que lo conforman. Un ejemplo de micro-contenido físico es la interpretación gráfica en el movimiento uniforme rectilíneo y algunos de sus núcleos conceptuales son la interpretación de la pendiente y área bajo la curva.

Llámesse observable de aprendizaje a toda propiedad o característica asociada con el aprendizaje de los estudiantes susceptible de ser medida con plena claridad y precisión. Cada sistema se caracteriza por un conjunto bien definido de observables de aprendizaje, el desempeño o puntaje S , la concentración C y la ganancia media normalizada G son algunos ejemplos.

Además, para materializar los observables del aprendizaje se requiere construir un test de indagación que cumpla con las siguientes características:

1. Surgir de las peculiaridades de la población en estudio con sus ideas erróneas y tendencias de pensamiento común, que se pueden obtener a partir de entrevistas directas o conocimientos extraídos de otras investigaciones.
2. Depurarse con una muestra de la misma población que no participa en el estudio, allí se analiza la conveniencia de cada pregunta en cuanto a redacción y pertinencia disciplinar se refiere.
3. Tener m opciones y por tanto $m-1$ distractores que inscriban las ideas alternativas y erróneas características de esta población.
4. Contener N_p preguntas que apuntan a indagar por los núcleos conceptuales del micro-contenido físico en estudio

Si un test como el descrito anteriormente se aplica a N_e estudiantes el resultado de la prueba se puede representar mediante el arreglo mostrado en la Fig.1, donde el número de opciones $1, 2, 3, \dots, m$ se ha denotado como A, B, C... , los estudiantes participantes como $e_1, e_2, e_3, \dots, e_{N_e}$ y las preguntas del test como $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_p}$; esta configuración se llamará en adelante el estado del sistema.

III. INDICADOR DE HOMOGENEIDAD

Para caracterizar la evolución temporal del aprendizaje de micro-contenido físico es preciso definir la homogeneidad respecto a una pregunta o grupo de preguntas que responda o respondan a los diferentes núcleos conceptuales del micro-contenido físico a estudiar.

	P_1	P_1	P_1	...	P_1	...	P_{N_p}
e_1	A	B	A	...			
e_2	C	.	.	.			

e_3	A						
\vdots	\vdots						
e_i							
\vdots							
e_{N_e}							

FIGURA 1. Estado del sistema.

El análisis de concentración [11] permite cuantificar la distribución de la concentración de una pregunta en particular, pero no se conocen, en cuanto a este campo de investigación se refiere, técnicas que permitan cuantificar la homogeneidad en una pregunta o grupo de preguntas. En esta sección se muestra como construir un indicador que cuantifique el grado de homogeneidad de una pregunta o de la prueba.

Un grupo de individuos se considera homogéneo cuando sus miembros comparten características en un contexto determinado. En la investigación educativa generalmente el grupo homogéneo en estudio corresponde a un grupo de estudiantes con características similares en contextos tan diversos como el cultural, la condición socio-económica, el sexo, la experiencia de vida, los valores y el rendimiento académico, entre muchos otros.

Por otra parte, uno de los resultados más importantes de la investigación en aprendizaje de la física es que los estudiantes al iniciar un curso ya traen consigo diferentes ideas erróneas, por lo general difíciles de cambiar, que suelen activarse a la hora de explicar diversos aspectos de un mismo hecho físico, también se sabe que en general la gama de estas concepciones alternativas en una población particular tiende a ser pequeña [1]. Esto ha propiciado que tales ideas alternativas sean utilizadas por muchos investigadores para construir instrumentos de opción múltiple que utilicen las concepciones alternas reportadas por los estudiantes para construir distractores que tengan sentido para el estudiante. Se desprende de lo anterior que un grupo de estudiantes de física con un entorno soci-cultural bien delimitado resulta homogéneo en alguna medida ya que las investigaciones reportan en su mayoría tendencias de pensamiento común [3]. Si se toma como criterio de homogeneidad la coincidencia en las ideas físicas erróneas o correctas que tienen los estudiantes entonces surge la necesidad de cuantificar el concepto de homogeneidad de una estructura global de pensamiento físico, por ejemplo el pensamiento Newtoniano.

Se define el número de coincidencias N_c , como el número total de coincidencias que los estudiantes tienen al responder cada opción en cada pregunta. Así, sea n_i el número de coincidencias que tiene el estudiante i con los estudiantes $e_{i+1}, \dots, e_{i+N_e}$ de manera que el número total de coincidencias está dado por la suma del número de coincidencias n_1, \dots, n_{N_e} , es decir:

$$N_e = \sum_{i=1}^{N_e-1} n_i \quad (1)$$

Ahora, para construir un indicador de homogeneidad es preciso encontrar el número máximo $N_{c_{max}}$ de coincidencias y el mínimo número de coincidencias $N_{c_{min}}$, para ello se procede de manera siguiente: dado que el máximo número de coincidencias ocurre cuando en la configuración de respuesta todos los estudiantes escogen la misma opción, el número de coincidencias del estudiante i es $n_i = N_p(N_e - i)$ y al usar la Ec. (1) se encuentra

$$N_{c_{max}} = \frac{1}{2} N_p N_e (N_e - 1) \quad (2)$$

Para encontrar una configuración con el mínimo número de coincidencias es necesario considerar dos situaciones: la primera cuando el número de estudiantes es múltiplo del número de opciones de cada pregunta del test, es decir $N_p = mN_e$ y la segunda cuando no lo es.

En el primer caso se pueden disponer diferentes opciones en cada pregunta hasta agotar las posibilidades formando bloques en los cuales no hay coincidencia interna al bloque. El número de coincidencias se obtiene al notar que un estudiante en particular tiene una coincidencia por cada bloque, dado que se tienen $N_b - 1$ bloques, m opciones y N_p preguntas el número de coincidencias mínimo en este caso es $m(N_p - 1)N_p$. En el segundo caso es preciso sumar todas las coincidencias que tiene cada estudiante con el bloque incompleto, puesto que adicionalmente hay $z = N_e \text{ mod } m$ elementos en el bloque sobrante y el número de bloques completos son $N_b = \text{Int}(N_e / m)$ entonces el número adicional de coincidencias por pregunta es zN_b .

De acuerdo con lo anterior el número mínimo de coincidencias está dado por:

$$N_{c_{min}} = N_p [m(N_b - 1) + N_b (N_e \text{ mod } m)] \quad (3)$$

Se define el coeficiente de homogeneidad como un número real perteneciente al intervalo $[0,1]$ que indica el parecido entre todos los estudiantes en cuanto al ítem elegido se refiere. $H = 1$ significa que son completamente homogéneos mientras que $H = 0$ significa que son completamente heterogéneos, es decir lo más diferente que pueden ser de acuerdo con las características del test. La relación entre el número de coincidencias y la homogeneidad permite inferir la evolución del sistema con el transcurso del tiempo, si la evolución se presenta de manera que los elementos (N_c, H) de esta relación tomen valores que hagan mínima la distancia $(N_{c_{min}}, 0) \rightarrow (N_{c_{max}}, 1)$ se tendrá el trayecto de evolución con mejor desempeño metodológico. De acuerdo con lo anterior, si se define una función lineal entre N_c y H exigiendo las condiciones $H = 0$ cuando $N_c = N_{c_{min}}$ y $H = 1$ cuando $N_c = N_{c_{max}}$ se encuentra

$$H = \frac{N_c - N_{c\min}}{N_{c\max} - N_{c\min}} \quad (4)$$

La expresión (4) permite cuantificar la homogeneidad del estado del sistema en estudio y en particular permite estudiar la homogeneidad del estado de una única pregunta haciendo $N_p = 1$.

IV. DIAGRAMA DE EVOLUCIÓN

El estudio de la evolución del aprendizaje de micro-contenidos físicos que se propone en este trabajo consiste en la aplicación consecutiva de un test durante sucesivas secciones de clase, para indagar por la evolución de los aciertos y falencias disciplinares de los estudiantes y la metodología de instrucción. De esta manera se observa la evolución en tiempo de ejecución, desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo. Para esto se calcula tanto el desempeño S como la homogeneidad H del estado instantáneo del sistema en cada sección y se organiza en un diagrama como el mostrado en la Fig.2. Además, esta información es complementada con la información extraída de un diario de campo que lleva el maestro. De acuerdo con lo anterior el maestro tiene suficiente información para ir ajustando su metodología de instrucción y observar de manera inmediata los resultados de la intervención.

Para construir un diagrama semi-cuantitativo sobre evolución temporal del aprendizaje de un micro-contenido físico DEHS se asigna al eje horizontal el desempeño o puntaje S normalizado a 1 y al eje vertical se le asigna el valor de homogeneidad H . Cuando $S \approx 1/m$, siendo m el número de opciones, hay un predominio del azar en la prueba y por lo tanto no se espera puntajes por debajo de $1/m$.

Cuando $S \approx 0,5$ se tiene máxima incertidumbre en el desempeño, de manera que puntajes mayores a este muestran una tendencia a la apropiación del micro-contenido físico, mientras que puntajes menores a $0,5$ muestran una prueba gobernada por el azar, pero con algo de conocimiento pues se han descartado opciones. De manera similar $H > 0,5$ marca una tendencia hacia lo homogéneo o parecido, mientras que $H < 0,5$ indica una diferencia en la percepción tanto de los conceptos correctos como de ideas y alternativas erróneas.

Un punto determinado (S, H) del DEHS cuantifica el estado del sistema, de manera que la distribución de cada punto en este diagrama muestra la evolución temporal del sistema en estudio. En la Fig.2 la trayectoria cerrada $ABCD$ indica la zona más significativa en cuanto a evolución coherente se refiere, pues zonas con $1/m$ serán visitadas con poca frecuencia ya que se parte de un test debidamente construido; la zona por encima de la semi-recta \overline{DC} indica una alta homogeneidad la cual no se espera frecuentemente cuando hay bajo puntaje, ni se espera que la homogeneidad sea muy alta con puntaje medio; a la derecha

de la semi-recta \overline{BC} no se esperan visitas, pues el aumento del desempeño implica un aumento en la homogeneidad; la zona por debajo de la semi-recta \overline{AB} es de alta aleatoriedad ya que tiene un puntaje bajo y es altamente heterogénea; la zona alrededor del punto A indica un puntaje de bastante azar y de baja homogeneidad lo que significa un punto de partida muy probable para el sistema, mientras que los alrededores del punto C indican un máximo tanto de desempeño como de homogeneidad y la semi-recta \overline{AC} indica el trayecto más eficiente de aprendizaje, puesto que es un camino de pocos intentos para alcanzar alto puntaje, es decir alta homogeneidad y por tanto una metodología exitosa. De acuerdo con lo anterior es innecesario usar todo el armazón gráfico de la Fig.2, basta con tomar la zona delimitada con los puntos $ABCD$ y mantener su orientación.

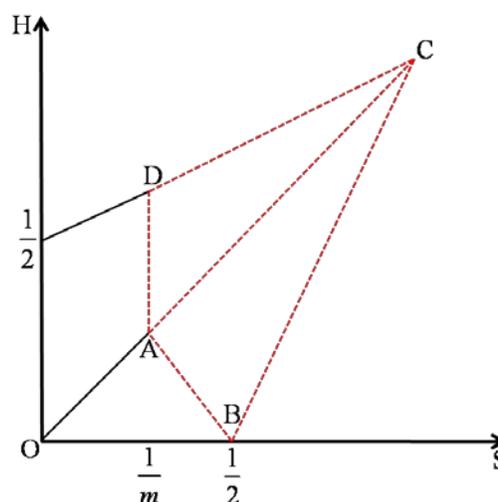


FIGURA 2. Diagrama de evolución de micro-contenidos físicos.

Diversas trayectorias de evolución del sistema se pueden presentar: en la Fig.3 se ilustran algunos ejemplos típicos: el trayecto 1 muestra un ciclo cercano al punto A y por tanto indica una metodología muy poco eficiente en la cual los estudiantes, respecto a sus conocimientos disciplinares, salen del curso prácticamente igual a como entraron; el trayecto 2 indica un escenario en el que el sistema inicia en un estado de baja homogeneidad y bajo puntaje y evoluciona hacia un estado de alta homogeneidad y bajo puntaje, tal situación eventualmente podría darse si se va creando poco a poco creencia en una o varias ideas erróneas y el trayecto 3 muestra como partiendo de una alta homogeneidad dada por existencia de errores comunes muy arraigados el sistema evoluciona hacia una zona de menor homogeneidad pero mayor puntaje, dando a entender que hay cierta efectividad en la metodología de instrucción usada.

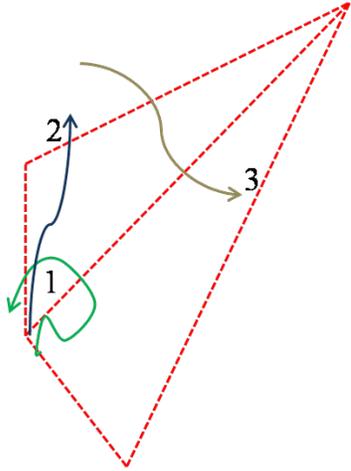


FIGURA 3. Algunos posibles trayectos de evolución.

El DEHS permite estudiar el comportamiento global o particular de un sistema en cuanto al aprendizaje disciplinar se refiere. Para estudiar un micro-contenido físico determinado se puede usar el DEHS aplicado a una única pregunta o a la prueba completa si se quiere estudiar todo el micro-contenido.

IV. CONCLUSIONES

Se presentó el diagrama de evolución de aprendizaje de micro-contenido físico, DEHS, como una técnica que permite estudiar la evolución del aprendizaje de micro-contenidos físicos durante algún periodo tiempo. Se explico las ventajas que esta técnica tiene, pues: cuantifica la evolución ya sea por conceptos particulares o de manera global permitiendo intervenir en tiempo de ejecución para cambiar aspectos metodológicos y mejorar la instrucción; permite observar si la conceptualización correcta de los estudiantes se mantiene en el tiempo o no; permite saber si los estudiantes responde al azar o con algún conocimiento disciplinar, da elementos para juzgar la efectividad de instrucción y muestra una manera de conocer la homogeneidad disciplinar de los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería y al Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Central por el tiempo y los recursos asignados al proyecto de investigación: Un modelo de enseñanza de la física mediante videos de experimentos Discrepantes realizado durante el año 2013. También agradecen al CICATA del IPN en México D.F por su continua colaboración.

REFERENCIAS

- [1] Bao, L. and Redish, E., *Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res **2**, 010103-1-010103-16 (2006).
- [2] Bao, L., Hogg, K. and Zollman, D., *Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law*, Am. J. Phys. **70**, 766-778 (2002).
- [3] McDermott L. C. y Redish, E. F., *Resource Letter: PER-1: Physics Education Research*, Am. J. Phys. **67**, 755-767 (1999).
- [4] Bao, L., Cai, T., Koenig, K., Fang, K., Han, J., Wang, J., Liu, Q., Ding, L., Cui, L., Luo, Y., Wang, Y., Li, L., Wu, N., *Learning and Scientific Reasoning*, SCIENCE **323**, 586-587 (2009).
- [5] McDermott, L. C., Oersted Medal Lecture 2001: *Physics education research: The key to student learning*, Am. J. Phys. **69**, 1127 (2001).
- [6] Benegas, J., *Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 32-38 (2007).
- [7] Talero, P. Barbosa, L., *Botellas equilibradas: Extracción discrepante de un billete desde la boca de dos botellas verticales invertidas*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **3**, 433-438 (2009).
- [8] Talero, P., Organista, O., Barbosa, L. y Rojas, G.: *Física Activa: Leyes de Movimiento* Ed., (Editorial Universidad Central, Bogotá, D. C., 2011).
- [9] Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, The Phys. Teach. **30**, 141-58 (1992).
- [10] Beichner, A., *Testing student interpretation of kinematics graphs*, Am. J. Phys. **62**, 750-7762 (1994).
- [11] Bao, L, Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student states*, Am. J. Phys. **69**, 45-53 (2001).
- [12] Hake, R., *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, Am. J. Phys. **66**, 64-74 (1998).
- [13] Heckler, A. F. y Sayre, E. C., *What happens between pre- and post-tests: Multiple measurements of student understanding during an introductory physics course*, Am. J. Phys. **78**, 768-777 (2010).
- [14] Mazur, E., *Peer's Instruction*, (Ed. Prentice Hall, NJ, 1997).
- [15] Nitta, N., *Mathematical theory of peer-instruction dynamics*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res **6**, 020105-1-020105-4 (2010).
- [16] Bordogna, C. M. y Albano, E. V., *Theoretical Description of Teaching-Learning Processes: A Multidisciplinary Approach*, Phys. Rev. Lett. **87**, 11870-1-11870-4 (2001).
- [17] Pritchard, D. E., Young-J. L. y Bao, L., *Mathematical learning models that depend on prior knowledge and instructional strategies*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res **4**, 010109-1- 010109-8 (2008).