ESTRATEGIA PARA FORTALECER MODOS DE RAZONAMIENTO Y ASOCIADA CAPACIDAD INDAGATORIA EN LOS ESTUDIANTES

Rojas[1] Sergio y Serrano[2] Orlando
[1]Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar
[2]Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Experimental de Guayana
srojas@usb.ve

Resumen

El desarrollo y "aparición" de procesos mentales conducentes al entendimiento de conceptos abstractos y a la asociación de ideas que permiten resolver problemas complejos puede tomar semanas, meses e inclusive, años. Pero tal habilidad sólo puede desarrollarse mediante esquemas de enseñanza-aprendizaje que la estimulen. Llegar a ese estado requiere que nuestros modos de instrucción sobrepasen la exigencia de la simple memorización y repetición de hechos o de la ejecución obligada de proyectos que, en el mejor de los casos, sólo requieren de la asociación de conceptos que se entienden a medias. Con el objetivo de capturar esquemas de razonamiento en estudiantes universitarios, para así estudiar sus modos de razonamiento, iniciamos este estudio con el diseño y aplicación de una prueba diagnóstico, consistente en un problema no estructurado (distinto a los del tipo dado A encuentre B), aunque concebido de acuerdo al nivel de conocimiento universitario. Los resultados indican una carencia de metodologías para evaluar la validez de un planteamiento, de una solución o de un resultado. Así, con apoyo tanto en nuestros resultados como en otros publicados en la literatura especializada, se muestran evidencias de que una estrategia de resolución de problemas bien estructurada y aplicada como un proceso dinámico ofrece una forma viable para ayudar a los estudiantes a alcanzar esquemas de pensamientos como los de un Experto Adaptable, muy hábil en innovación y eficiencia, lo cual es un resultado deseado del proceso de enseñanza-aprendizaje, como instrumento que magnifica la capacidad indagatoria y el aprendizaje futuro de los estudiantes.

Palabras clave: razonamiento, capacidad indagatoria, enseñanza-aprendizaje.

Introducción

Aprender a pensar organizada y críticamente constituye un aspecto que deberíamos desarrollar y fortalecer a lo largo de cada una de las etapas de la educación formal que recibimos. Por su naturaleza, los cursos de Matemáticas y Física General han de ser una ventana para aprender a organizar esquemas de razonamiento, tanto conceptuales como cuantitativos, que permitan abordar y ejecutar cualquier actividad en forma organizada, eficaz y eficiente. No obstante, es fácil darse cuenta de que los esquemas tradicionales de presentar en clase el contenido de estos cursos están lejos de estimular el desarrollo de tales habilidades. De hecho, la presentación usual que sugieren los libros de texto es la memorización mecánica, irracional e indiscriminada de ecuaciones, que se presentan al final de cada capítulo en un formulario recopilatorio, práctica que parece ser también alentada en ciertos entornos de enseñanza-aprendizaje (Hamed, 2008).

Es nuestra experiencia, tanto como docentes como estudiantes, presentar el estudio de Matemáticas y de Física mediante la aplicación inconsciente e indiscriminada de ecuaciones favorece el hecho de que el aprendiz internalice la idea errónea de que lo que aprende en un curso es desconectado de lo que estudiará en otro curso, limitando de esta manera el ejercicio del desarrollo de la habilidad de abordar problemas desde un punto de vista sistémico e interdisciplinario (Rojas , 2012, 2010a, 2008; Bunge, 2000, 2004). En otras palabras, se restringe u obstaculiza el desarrollo de las capacidades y habilidades del estudiante para transferir conocimiento de un área de estudio a otra, aun cuando la notoria, manifiesta y creciente transdiciplinariedad del conocimiento así lo exige (Rojas, 2010b; Crouch *et al.*, 2010; Kopp, 2010).

Ahora bien, aceptando que el desarrollo y "aparición" de procesos mentales conducentes al entendimiento cabal de ideas abstractas puede tomar semanas, meses e inclusive, con mucha frecuencia, años, para familiarizar razonablemente al estudiante con la resolución de problemas se requiere de una extensa e intensiva práctica, que le debe favorecer el adquirir habilidades de razonamiento cuantitativo en un período relativamente corto, y que se puede fortalecer involucrándolo en actividades de carácter interdisciplinario que requieran de la transferencia del razonamiento cuantitativo. Es decir, es imperioso que el estudiante activo e interesado mantenga siempre en mente que lo que estudia en un curso dado, de una forma u otra, se relaciona con otros aspectos que ha estudiado o estudiará más adelante. Es decir, cada aspecto del conocimiento que se adquiere se relaciona a otro aspecto, y para participar activamente en la interdisciplinaridad del conocimiento, cada tópico debe estudiarse con el esfuerzo suficiente para encontrarle significado en relación a su conexión con otros aspectos del conocimiento. Al hacerlo de esa manera, estaremos operando bajo la concepción que, clara y elocuentemente, establece que para ser partícipe de un aprendizaje efectivo, quien aprende, además de estar interesado en el tema que ha de ser aprendido, también debe encontrar placer en el proceso de aprendizaje; tal actitud también favorece el aprendizaje de larga duración (Conway *et al.*, 1991).

Así, este artículo tiene por objetivo iniciar una discusión sobre el diseñar instrumentos evaluativos que nos permitan capturar esquemas de razonamiento con que los estudiantes llegan a nuestros cursos, de manera que el instructor pueda diseñar con más efectividad estrategias de enseñanza-aprendizaje que mejor puedan activar en los estudiantes esquemas de pensamiento de orden superior, que le permitan fortalecer sus capacidades para aprender, conscientemente y por cuenta propia, mientras adquieren conocimientos nuevos, en otras palabras, la supervisión consciente de lo que aprenden, mediante la activación de habilidades metacognitivas (Veenman, 2012; Lin *et al.*, 2005; Hacker *et al.*, 1998).

Materiales y Métodos

Para ejecutar este estudio se realizó la adaptación de un problema que se utilizó a finales de la década de 1960 para estudiar la habilidad, tanto de estudiantes como de un programa de computación, para convertir la declaración verbal de problemas en ecuaciones (Larkin *et al.*, 1980).

Iniciado en el 2012, en el estudio participaron un total de 134 estudiantes, distribuidos de la siguiente manera: 62 estudiantes de un curso avanzado de Física para Ciencias e Ingenierías en la Universidad Simón Bolívar (USB), en el que el nivel de conocimiento de los estudiantes es tal, que ya conocen como resolver ecuaciones diferenciales; 36 estudiantes de un curso intermedio de Física para Ciencias e Ingenierías en la USB, en el que el nivel de los estudiantes es tal, que ya conocen como resolver integrales; 36 estudiantes de un curso introductorio de Física para Ciencias e Ingenierías en la Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG), en el que el nivel de los estudiantes es tal, que ya conocen como calcular derivadas y algunas integrales elementales. Cabe destacar que el interés en la selección del nivel de los cursos estuvo guiado por la motivación de tener un muestrario, indicando que si el estudio se continúa en futuras ediciones, el mismo debería o no incluir estudiantes de nivel universitario avanzado.

Teniendo 20 minutos para resolverlo, el problema planteado para capturar la forma de razonamiento de estos estudiantes fue como se muestra a continuación (hubo una ligera modificación, sin importancia, al problema planteado a los estudiantes en la UNEG):

El problema

En una práctica de laboratorio dos estudiantes mueven “partículas” (de masa m y carga q) de un sitio a otro, cada uno haciendo un montoncito de partículas y, al finalizar, registran en una etiqueta sobre cada montoncito la cantidad de masa y carga que el mismo contiene. Después que terminan, el profesor toma nota de las cantidades de carga y masa en cada montoncito. Primero, observa una etiqueta que dice “en este montoncito hay 2/3 de la masa total de todas las partículas". Después de anotar, el profesor mira nuevamente y ahora observa otra etiqueta en que se lee "en este montoncito hay 4 unidades de masa más que en el otro montoncito" (por favor, al responder las siguientes preguntas no borre ningún paso de su procedimiento y encierre en "círculos" lo que considere incorrecto):

1. Encuentre la masa total de las partículas. Explique en detalle cada paso que ejecute para resolver el problema y, particularmente, exprese lo que considere respecto del resultado obtenido.
2. ¿Cambiaría la respuesta si en lugar de masa es carga a la que se hace referencia en las anotaciones? ¿Es en este caso única la respuesta?

Resultados y Discusión

Del total de 134 estudiantes, solamente 29 estudiantes generaron respuestas correctas, esto es, los estudiantes interpretaron correctamente que ambas anotaciones hacen referencia al mismo montoncito. Así, considerando que el objetivo es capturar la estrategia de razonamiento del estudiante, una justificación similar a que si un montón contiene 2/3 de la masa total (Mt), el otro ha de contener 1/3 de la misma, entonces como M2=1/3 Mt es menor que M1=2/3Mt, este último debe cumplir con la relación M1=M2+4, se acepta como formulación correcta, puesto que con un poco de álgebra podemos conocer la respuesta correcta (no es objetivo de este trabajo evaluar si el estudiante conoce cómo manipular correctamente ecuaciones algebraicas, aunque esa información también queda develada. De hecho, encontramos que un total de 9 estudiantes tuvieron dificultad con el álgebra de fracciones). En efecto, combinando las relaciones para M1 y sustituyendo el valor de M2, encontramos que Mt= 12 unidades de masa, por lo que cada montoncito contiene M1=8 y M2=4 unidades de masa, respectivamente.

Considerando el nivel de formación de los estudiantes y la complejidad del problema (que está al alcance de estudiantes de educación media), debemos coincidir en que el número de estudiantes (22 %) que generaron lo que consideramos como "respuesta correcta" es muy bajo. Cabe mencionar que las respuestas correctas corresponden a 20 estudiantes (15 %) del curso avanzado y a 9 estudiantes (7 %) del curso intermedio; ninguno de los estudiantes del curso introductorio respondió correctamente el problema. Igual de alarmante es que tales estudiantes carecen de una metodología clara para resolver problemas, lo cual es notorio en las manchas de borrones que se observan en las hojas de respuesta de quienes generaron respuestas correctas (ello a pesar que se les sugirió encerrar en círculos lo que consideraran incorrecto en lugar de borrarlo). Tal tendencia sugiere que los estudiantes prefieren seguir el orden en que se presentan las clases, donde todo se hace siguiendo una secuencia lógica-deductiva, ignorándose que para llegar a las teorías que se presentan fue necesario transcurrir por un camino largo de ensayo y error.

Para continuar con la presentación y discusión de los resultados, debemos mencionar que un total de 24 estudiantes

(18 %) realizaron el planteamiento incorrecto de asignarle las anotaciones a montones diferentes. Es decir, estos estudiantes interpretaron que si la primera anotación se refería a M1=2/3Mt, entonces la segunda anotación se refería a que M2=M1+4=2/3Mt+4 (sin considerar que M2 debería ser 1/3Mt). Luego, como M1 + M2 = Mt, sustituyendo se obtiene que Mt= - 12 unidades de masa. Un aspecto importante a destacar es que prácticamente todos los estudiantes que llegaron a este resultado coincidieron en que el mismo no tenía sentido porque masa es una cantidad estrictamente positiva, pero que si podía ser válido para el caso de la carga porque ésta podía tener un valor negativo.

Sin embargo, ninguno de estos estudiantes cuestionó el razonamiento empleado para obtener tal resultado negativo para la masa, lo que es indicativo de que en sus esquemas de razonamiento no cuentan con herramientas suficientes para evaluar un procedimiento o una respuesta. No obstante, el razonamiento de un estudiante muestra que, de haber contado con una estrategia adecuada que orientara su razonamiento, el estudiante pudo haber encontrado la formulación correcta del problema. El estudiante razonó de la siguiente manera:

• Montoncito 1: 2/3 M ; Montoncito 2: 2/3M + 4;

Masa total: 2/3M + 2/3M + 4=M; M/3 + 4 = 0 entonces M = - 12, lo cual no es posible puesto que la masa debe ser un escalar positivo.

Así queda la segunda interpretación de las anotaciones: Montoncito 1: 2/3 M ; Montoncito 2: 2/3M - 4; 2/3M + 2/3M - 4 = M lo que da M = 12

Es de notar cómo el encontrar el resultado inconsistente con el concepto de masa guía al estudiante a proponer un nuevo procedimiento cuantitativo para tratar de resolver el problema (el resto de los estudiantes en esta situación sólo se limitaron a expresar la inconsistencia de haber obtenido un valor negativo para la masa). No obstabte, este estudiante no intenta racionalizar mejor su nuevo procedimiento, lo que es indicativo de que no cuenta con alguna estrategia que le permita activar procesos metacognitivos o pensamientos de alto orden (Hacker *et al.*, 1998), que le ayuden a racionalizar su elección desde un punto de vista del pensamiento crítico.

Estrategia metodológica para fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje

Tal como se ha establecido explícitamente en estudios previos (Rojas, 2012, 2010a, 2008), mediante una revisión exhaustiva y crítica de resultados presentados por otros autores, las observaciones que hemos obtenido en este estudio confirman la necesidad de fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje presentándole a los estudiantes una estrategia coherente y consistente para resolver problemas. Tal estrategia la podemos resumir en un esquema de seis pasos (Rojas, 2010a):

1. Entender el problema.
2. Generar una descripción conceptual del problema.
3. Planificar una forma de solución.
4. Ejecutar el plan.
5. Verificar la consistencia y coherencia de la formulación matemática.

6. Verificar y evaluar la respuesta obtenida, con apoyo haciendo énfasis en modos de razonamiento (Rojas, 2012): a) hacer uso intensivo de preguntas cuestionando/favoreciendo lo que se hace; b) usar métodos de demostración por inducción/deducción; c) usar métodos de razonamiento por analogía, vía contraejemplos, reducción al absurdo, entre otros.

Existen numerosas investigaciones que apoyan la idea de que, si se entrenan adecuadamente, los estudiantes pueden absorber los pasos de la estrategia de tal forma que podrán aplicarlos mentalmente en forma natural y enérgica, todo ello en conformidad con la premisa de que un aspecto importante del proceso enseñanza-aprendizaje no es la cantidad de conocimiento que podemos acumular, sino la forma que con ese conocimiento razonamos para resolver nuevas situaciones, tanto por cuenta propia como en equipo (Rojas, 2012, 2010a, 2008, 2010b).

Ejemplo ilustrativo

En referencia al problema que se estudia, ya se ha mencionado una forma de razonar para determinar que ambas anotaciones referidas en el enunciado del problema corresponden al mismo montoncito de partículas. En el caso de quienes encontraron un valor negativo para la masa total, hacer preguntas los puede ayudar a corregir su procedimiento. Una pregunta obvia sería, ¿tiene sentido que si un montoncito contiene 2/3Mt el otro pueda contener 2/3Mt+4? El responder esa pregunta conduciría a preguntarse ¿cómo se relacionan las masas entre sí? A su vez, responder a esta última pregunta llevaría a establecer que: M1+M2=Mt, lo cual conduce a detectar la inconsistencia en el planteamiento de asignar M1=2/3Mt y M2=M1+4, puesto que M1+M2 = 4/3Mt + 4 resulta en una cantidad que es claramente mayor a Mt.

De estar familiarizado con una estrategia para resolver problemas, este esquema de razonamiento pudo haber ayudado al estudiante referido anteriormente a, en lugar de buscar un resultado positivo para la masa, justificar mejor su asignación de M1=2/3Mt y M2=2/3Mt- 4=M1-4 (a las masas en cada montoncito), de donde obtiene que M1=M2 + 4; es decir, por razonamiento inductivo encontraría que ambas anotaciones se refieren al mismo montoncito. En caso que el estudiante no pueda intuir (como efectivamente fue el caso) que si M1=2/3Mt entonces M2=1/3Mt, el estudiante pudo haber pensado que M1+M2 = Mt, y con M1=2/3Mt obtiene que M2=1/3Mt. Ciertamente, mucho de este razonamiento requiere que los estudiantes puedan usar el álgebra de fracciones, una dificultad que, como mencionamos anteriormente, en algunos estudiantes (con conocimiento de cálculo a nivel universitario) fue una debilidad notoria.

Es importante mencionar que en ningún caso los estudiantes que encontraron la respuesta correcta del problema se preguntaron cómo evaluar esa respuesta. Fuera del hecho de que la masa resultó un valor positivo, ¿es el resultado confiable? Ninguno de los estudiantes calculó el contenido de masa en cada montoncito para verificar que las cantidades obtenidas correspondían al enunciado del problema (como efectivamente se obtiene, partiendo de que si Mt=12, M1=2/3Mt=8 y M2=1/3Mt=4, resultando que M1=M2+4=4+4=8). Es pertinente mencionar que para tener más confianza en un resultado, además de evaluar la consistencia de las unidades y el orden de magnitud del mismo, es necesario recurrir a otro procedimiento para resolver el problema. Esto puede ser inapropiado en un examen o cuando el tiempo es una limitante, pero los estudiantes de este estudio parecieran no haber estado conscientes de este procedimiento, el cual es crucial a la hora, por ejemplo, de construir un edificio o alguna estructura, tal como fue dramáticamente ilustrado recientemente en el así denominado desastre del puente del milenio (Eckhardt y Ott, 2006).

En el problema que consideramos, un procedimiento alternativo de encontrar la solución del mismo sería iniciar con que M1=2/3Mt entonces M2=1/3Mt, de donde obtenemos que M2=M1/2. Como M1=M2+4, obtenemos, resolviendo estas dos últimas ecuaciones, que M1=8 y M2=4, resultando Mt=M1+M2=12 (todas las cantidades en unidades de masa).

Conclusiones

En este trabajo se muestra que un grupo de estudiantes, de varios niveles de la etapa de educación universitaria, muestran alarmantes deficiencias en sus esquemas de razonamiento, confirmando que los instructores participantes en el proceso enseñanza- aprendizaje deben incorporar en sus modos didácticos de enseñanza estrategias que permitan fortalecer las capacidades indagatorias de los estudiantes, lo cual es una condición esencial para que puedan aplicar el conocimiento acumulado para razonar apropiadamente y resolver nuevas situaciones, tanto por cuenta propia como en equipo. Una estrategia para tal fin fue resumida en la sección anterior y se estudia en detalle en diversas investigaciones (Rojas, 2012, 2010a, 2008, 2010b).

Considerando que el presente estudio abarca varios niveles de la educación universitaria, los resultados de este trabajo nos llevan a plantear, como tarea a futuro, inventar una serie de problemas que permitan capturar más en detalle los esquemas de razonamiento de los estudiantes, involucrando más universidades del país. Los autores desconocen de iniciativas similares a ésta que se estén llevando a cabo o se hayan realizado en el pasado (ciertamente hay estudios que evalúan el grado de conocimiento en los estudiantes, pero ello, tal como mencionamos anteriormente, es diferente a lo que aquí planteamos). Nuestro interés es que instructores puedan detectar en un primer día de clase los esquemas de razonamiento de sus estudiantes, para así divisar estrategias que le permitan, con tal información, abordar con más efectividad el proceso enseãnza- aprendizaje.

Referencias Bibliográficas

Bunge, M. (2004). How does it work?: The search for explanatory mechanisms. Philosophy of the Social Sciences. 34 (2): 182 – 210.

Bunge, M. (2000). Systemism: the

alternative to individualism and holism. Journal of Socio-Economics. 29 (2): 147–157.

Conway, M., Cohen, G., y Stanhope, N. (1991). On the very long-term retention of knowledge acquired through formal education: Twelve years of cognitive psychology. Journal of Experimental Psychology: General. 120 (4): 395–409.

Crouch, C., Hilborn, R., Kane, S., McKay, T., y Reeves, M. (2010). The back page: Physics for future physicians and life scientists: a moment of opportunity. APS News. 19 (3): 8.

Eckhardt, B. y Ott, E. (2006). Crowd synchrony on the london millennium bridge. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 16 (4): 041104–041104.

Hacker, D., Dunlosky, J., y Graesser, A. (1998). Metacognition in educational theory and practice. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Hamed, K. (2008). Do you prefer to have the text or a sheet with your physics exams?
The Physics Teacher. 46 (5): 290–293.

Kopp, S. (2010). The back page: Enlarging physics programs at colleges and universities. **APS News. 19 (8): 8.**

Larkin, J., McDermott, J., Simon, D., y Simon, H. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. Science. 208 (4450): 1335–1342.

Lin, X., Schwartz, D., y Hatano, G. (2005). Toward teachersádaptive metacognition. Educational Psychologist. 40 (4): 245–255.

Rojas, S. (2012). Enhancing the process of teaching and learning physics via dynamic problem solving strategies: a proposal. Revista Mexicana de Física E. 58 (1): 7–17.

Rojas, S. (2010a). On the teaching and learning of physics problem solving. Revista Mexicana de Física E. 56 (1): 22–28.

Rojas, S. (2010b). Investigaciones en dinámica social, flujo de fluido en medios porosos y en enseñanza-aprendizaje de física, [en línea]. Trabajo de Ascenso para optar a la categoría de Profesor Titular de la Universidad Simón Bolívar. Recuperado el 20 de enero de 2012, de http://bitly.com/S0zY9E

Rojas, S. (2008). On the need to enhance physical insight via mathematical reasoning. Revista Mexicana de Física E. 54 (1): 75–80.

Veenman, M. (2012). Metacognition in science education: Definitions, constituents, and their intricate relation with cognition. Metacognition in Science Education. 40: 21–36.