

Hacia el cambio conceptual. Experiencia realizada con universitarios

P. Segarra*

Departamento de Física

Universidad Autónoma Metropolitana

(Recibido el 17 de octubre de 1990; aceptado el 11 de abril de 1991)

Resumen. En la mayor parte de los estudios sobre preconceptos, la investigación se centra en la descripción y comprensión de los modelos (marcos alternativos) de los alumnos. En la práctica educativa, nos encontramos con la necesidad de provocar el cambio conceptual; el alumno debe conocer y en lo posible utilizar las explicaciones aceptadas por la ciencia. ¿Cómo puede el maestro suscitar un cambio conceptual en sus estudiantes? En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el trabajo con 3 grupos de Física del tronco común de Ciencias Biológicas y de la Salud.

PACS: 01.40.Gm; 01.75.+m

Ubicación y descripción del problema

En diversos estudios [1] se ha encontrado que desde su nacimiento, el individuo empieza a interpretar el medio ambiente construyendo una explicación funcional sobre los fenómenos del mismo. Las explicaciones del sentido común le permiten adaptarse, sobrevivir y comprender muchas cosas de la vida diaria, pero en general no coinciden con las explicaciones aceptadas actualmente por la comunidad científica.

¿Qué sucede cuando se le tratan de enseñar a este individuo interpretaciones científicas que no concuerdan con las explicaciones que él mismo ha construido? En muchos casos el alumno aprende a manejar dos marcos conceptuales independientes: a) El académico, que utiliza únicamente para responder a exámenes y preguntas de clase, le sirve para decirle al maestro lo que él quiere que diga, y aprobar; b) El personal o el del sentido común, que actúa en todas las otras circunstancias. A veces se adoptan en forma errónea algunos conceptos científicos dentro del esquema conceptual propio. También puede darse un cambio conceptual que lleve a la modificación parcial o total del modelo personal, acercándolo a la interpretación científica.

El reto del proceso de enseñanza-aprendizaje debe consistir en que el alumno logre modificar su marco conceptual, de forma que se acerque progresivamente a las explicaciones aceptadas por la ciencia. En otras palabras esto significa que la meta es lograr que el conocimiento sea significativo y que pueda ser transferido

*En licencia sabática del Departamento de Física, Facultad de Ciencias, UNAM.

(aplicado) a diferentes circunstancias. Hay que recordar que la habilidad para aplicar el conocimiento no surge automáticamente de la comprensión del mismo, ya que requiere de mayores capacidades con más complejidad.

Para poder evaluar un posible cambio conceptual se deben conocer los esquemas que manejan los alumnos antes de ser sometidos al nuevo proceso de instrucción. En la presente investigación, realizada con alumnos de ciencias biológicas y de la salud, la detección de estos esquemas se hizo por preguntas en clase, elaboración personal de mapas conceptuales y por pruebas de papel y lápiz. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura, aún con los que se refieren a estudios realizados con niños [2] o con el público en general [3], a pesar de estar trabajando con alumnos de primer año de universidad. Esto significa que es muy difícil modificar los marcos conceptuales o dicho de otra manera, todo parece indicar que los preconceptos permanecen inalterados a pesar de la instrucción [4].

Los siguientes ejemplos, tomados de los grupos de estudio, ilustran las afirmaciones anteriores. Se identifica la atmósfera con la gravedad, por lo tanto si no hay atmósfera no hay gravedad y los cuerpos flotan. El cielo es azul porque refleja el color del mar. El universo es oscuro porque hay algo que se chupa la luz (hoyos negros) o bien porque hay una interferencia destructiva de la luz que proviene de las estrellas. De una pila salen dos corrientes, una positiva y una negativa, que chocan en el foco y eso hace que encienda. Los cuerpos tienen una temperatura propia: la madera es tibia y los metales fríos a la sombra y calientes al sol. Confunden calor con temperatura y luz con electricidad porque en el lenguaje común estos vocablos se utilizan muchas veces como sinónimos. Identifican frecuencia con intensidad porque en el sonido, "alto" o "bajo" puede estarse refiriendo tanto a tono como a volumen. Con esto no quiero hacer un listado de disparates (que han existido desde hace mucho tiempo), sino señalar que a pesar de haber sido sometidos a muchos años de instrucción, los alumnos de primer año de universidad siguen manejando estos conceptos. Cabe subrayar que estos errores, estos modelos, aparecen en todas las edades y en todos los países que han realizado este tipo de estudios.

Por otro lado no se encontraron modelos para luz-visión y sonido-audición; simplemente se acepta como un hecho que oigo y veo porque mis sentidos funcionan y no se busca explicación. No se sabe a qué nivel quedan los estudios del ojo y del oído realizados desde la primaria. Para los que se dedican a la investigación descriptiva de los marcos conceptuales éste podría ser un campo interesante de explorar, ya que la mayor parte de los estudios se han hecho en mecánica donde parece ser más evidente la construcción de modelos personales.

Ante esta situación cabe preguntarse: ¿qué características deben tener las explicaciones o conceptos para que el estudiante los pueda hacer suyos? ¿qué proceso facilita o posibilita el cambio conceptual? ¿qué tan permanente es? ¿qué y cómo se debe enseñar?

Para que un concepto nuevo y las relaciones que él implica puedan ser adaptadas sustituyendo a conceptos anteriores es necesario que éste sea comprensible, no contraintuitivo y más útil que el anterior [5]. Supuesta la inteligibilidad del nuevo concepto, el camino hacia el cambio conceptual se inicia cuando el sujeto es capaz de percibir que existe discrepancia entre su concepto y el presentado por la ciencia.

Los alumnos tienden a buscar salidas que eviten esta confrontación, cuya resolución requeriría alguna revisión fundamental de sus concepciones.

Todos somos conscientes de que muchos de los conceptos de física no se presentan en forma comprensible a los alumnos. En general se manejan abstracciones que el estudiante no comprende porque carece de la experiencia concreta o porque no entiende el lenguaje matemático con el que se expresa el concepto físico. Si lo que se está enseñando es ininteligible para el estudiante, éste únicamente memorizará expresiones que no tienen significado para él, con el fin de aprobar un examen. Si el concepto es contraintuitivo aunque sea comprensible (como sucede en muchas descripciones de la mecánica) no podrá ser encajado o integrado en el marco conceptual preexistente por lo que se puede compartamentalizar su campo de explicación e integrarlo separadamente, difícilmente podrá haber transferencias; éste puede ser un ejemplo de lo que anteriormente llamé un marco académico. Sin embargo, si el nuevo concepto es comprensible, plausible y más útil que el anterior, porque logra explicar situaciones nuevas además de las que el concepto anterior explicaba, entonces se produce una insatisfacción con la concepción propia que da paso al cambio conceptual. Aquí quiero señalar que el alumno no le ve ninguna utilidad a muchos de los conceptos que enseñamos en física porque no siente que tengan relación con su vida diaria.

A pesar de que los nuevos conceptos sean comprensibles, intuitivos y útiles, el cambio conceptual no es automático ni inmediato, requiere una readaptación de toda una forma de pensar; sin embargo, con estas condiciones es posible que se dé un aprendizaje significativo si el estudiante realiza un esfuerzo para reajustar su red conceptual. Se han hecho estudios en los que se ve que el alumno yuxtapone lo enseñado en la clase de ciencias a su esquema conceptual, sin que esto suponga una modificación de fondo [6]. Nos podemos preguntar si los programas y curricula escolares no están contruidos como una yuxtaposición de temas, ¿no estaremos reforzando con ellos esta falta de integración?, ¿no estaremos realmente entrenando para que la yuxtaposición pueda darse sin causar problemas?

¿Puede el maestro suscitar un cambio conceptual?

El docente puede posibilitar el cambio impartiendo un curso con un nivel adecuado, interesante, atrayente y útil. Esto es, el curso no puede ser tan difícil que ocasione un bloqueo o frustración, ni tan fácil que no provoque interés. En lo posible, a pesar de la edad de los alumnos, se debe partir de lo concreto hacia lo abstracto. Se necesita una referencia inteligible a partir de la cual se pueda empezar a construir una abstracción o generalización.

El alumno deberá esforzarse en comprender e interiorizar dicho conocimiento, relacionarlo con referencias claras y conceptos previos así como poderlo utilizar en situaciones nuevas. El maestro debe tratar de suscitar un interés distinto al de la calificación. En muchos casos preparamos para aprobar un tipo de examen, lo que no significa que el estudiante posea un conocimiento significativo. En estudios de

seguimiento realizados con alumnos de preparatoria se han encontrado los mismos errores en aquellos que aprobaron y en los que no aprobaron la física [7].

Tenemos que saber que hay temas especialmente difíciles en la enseñanza de la física: *a)* por el gran número de modelos no científicos que los alumnos han construido para explicarse los fenómenos naturales, o bien *b)* porque la abstracción es tal que no se alcanza a comprender, o *c)* hay tal grado de simplificación que no se ve ninguna relación con el problema real y por lo tanto no se ve utilidad a dicho conocimiento. Estos casos son especialmente ciertos en la forma como se imparte la mecánica y sin embargo la mayor parte de los cursos de física empiezan por ella, provocando la opinión generalizada que se tiene de la física como inservible, oscura y aburrida. Dice Guidoni [8] que a pesar de los repetidos fracasos en la enseñanza de la mecánica insistimos en impartir en la secundaria cursos que deberían ser universitarios; aunque los esquemas que se enseñan sean científicamente correctos, son culturalmente ineficaces ya que no han sido capaces de transformar la manera de pensar de la mayor parte de nuestros estudiantes sobre la mecánica.

Sin embargo existen otras ramas de la física donde los alumnos pueden no haberse planteado una explicación y por lo tanto es más sencillo aceptar el modelo científico. Insisto en que se debe mostrar al estudiante la utilidad de dicho conocimiento y motivarlo para que lo aplique o adapte a situaciones diversas.

Todo el enfoque anterior sustenta un curso donde se intercale de forma integrada lo experimental con lo teórico, donde en un primer momento se minimice el uso de las matemáticas para insistir más en el fenómeno físico, su descripción y conceptualización antes que en su expresión matemática, donde se puedan exponer las ideas propias y confrontarlas con el resto del grupo y donde finalmente se vea la fuerte relación que existe entre la ciencia, la técnica y la sociedad. También requiere de la posibilidad de hacer un seguimiento de los cambios en las redes conceptuales de los estudiantes.

¿En la Universidad?

Tal vez pueda parecer un poco extraño que se haga un planteamiento didáctico para universitarios, ya que prácticamente no existen estudios en este nivel. Los científicos estamos acostumbrados a pensar que el alumno aprende porque está interesado y tiene capacidad; por lo tanto, si no aprende es porque no tenía la supuesta capacidad o la preparación adecuada en un cierto tema o disciplina o porque en algún fallo en el método de selección llegó a la universidad.

Debido a los métodos tradicionales de enseñanza se considera normal (a nivel universitario) un índice de reprobación en física del 75% en la mayor parte de las materias y a lo largo de toda la carrera. El problema es aún mayor cuando "física" es una materia obligatoria del tronco común de carreras que no son propiamente de física. La materia de física se ha convertido en una materia teórica, temida, impartida en auditorios, que es fuente de frustración y filtro de selección. Este hecho que pudiera ser considerado como algo ya tradicional es ahora más agudo debido

a la población creciente de estudiantes universitarios, a la falta de laboratorios o equipamiento de estos y falta de profesores.

Tomando en cuenta todos los considerandos anteriores se planteó dentro de la materia "Fundamentos de Física" del tronco común de las licenciaturas de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa), un curso introductorio que permitiera a los estudiantes ver que la Física está relacionada de forma muy directa con su vida y sus áreas de interés. El experimento se realizó en condiciones reales con 3 grupos, en dos trimestres distintos, haciendo un total aproximado de 300 alumnos. Se les aplicó toda una serie de técnicas que pudieran propiciar el aprendizaje y se les fue pidiendo que señalaran las que más les ayudaban. El primer resultado observado fue que los alumnos cambiaron la actitud apática de no-sé y no-entiendo por la participativa ya que preguntaban en clase mostrando un interés y comprensión poco usual en esta materia; esto llevó a un mayor aprendizaje. Otro resultado fue que la deserción se minimizó considerablemente y por último (aunque no era el objetivo principal) se obtuvo un alto índice de aprobación.

El principal problema encontrado fue que los estudiantes no sólo tienen unos preconceptos en ciencias, tienen además prejuicios de lo que es la física y cómo debe impartirse; están acostumbrados a pasar exámenes repitiendo mecánicamente lo expuesto por el profesor; leen muy poco y estudian la víspera del examen en sus apuntes.

Desarrollo del curso

Se planteó un curso de física con un enfoque de lo concreto a lo abstracto, tratando de enfatizar en los fenómenos y en los procesos. En lo posible se ha dejado a un lado la representación matemática de las leyes o principios de la física y sin embargo se ha insistido en su aplicación en la vida diaria. Lo expuesto en clase se ha ampliado con conferencias y lecturas obligatorias relacionadas con el tema; fue necesario señalar que eran "obligatorias" por la falta de motivación de los estudiantes, se realizaron exámenes tomando como material el contenido de las lecturas. Los temas tratados han sido: *a)* sonido y luz, acompañados por una fundamentación de fenómenos ondulatorios; *b)* circuitos eléctricos, con el material de pilas y focos [9] que se está empezando a utilizar en la preparatoria, implica experimentación en el salón de clase y construcción de modelos; *c)* elementos de la termodinámica que permiten diferenciar los conceptos de calor y temperatura y sirven de introducción para el curso de fisicoquímica.

Con este tipo de enfoque se logra que entiendan el concepto y que puedan hacer predicciones cualitativas basándose en su experiencia; al tratar de utilizar expresiones matemáticas, fórmulas, con la finalidad de poder hacer problemas numéricos, nos topamos con el problema de siempre: no se cuenta con la base matemática. En general las fórmulas carecen de sentido para los estudiantes y les provocan un bloqueo.

Aunque pudiera parecer contradictorio, la principal dificultad encontrada es que el esquema planteado en este curso no corresponde al que los alumnos tienen de lo que debe ser una cátedra de física, según el modelo desarrollado durante las clases de

secundaria y preparatoria. No se empieza con una fórmula y problemas donde deben hacer algo de álgebra y sustituciones numéricas para obtener un resultado carente de significado para ellos, pero que se identifica con su concepto de física. Al exigirles una construcción y no una mera repetición se sienten desarmados y arguyen que no saben qué tienen que estudiar, que no tienen un formulario, algunos llegan a pensar que no se les ha dado clase porque éstas no se han dedicado a resolver problemas de tipo numérico; dicho de otra manera: sienten que se está perdiendo el tiempo, aunque estén experimentando, estudiando, discutiendo o tratando de entender un fenómeno y haya clases dedicadas en su totalidad a contestar dudas y a plantear o debatir los diferentes modelos.

Por otro lado las sesiones que a primera vista pudieran parecer más informales suelen ser muy ilustrativas para el profesor, ya que en ellas se pueden ver claramente los marcos conceptuales que están manejando los estudiantes, así como la modificación de sus conceptos o su enriquecimiento y la integración correcta o errónea que hacen de los conceptos científicos dentro de sus esquemas. Estas sesiones suelen provocar muchas protestas porque están totalmente fuera del esquema que ellos tienen de lo que debe ser una clase de física.

Sin embargo, después de este proceso la mayoría logra responder a los problemas fenomenológicos planteados en clase o en el examen y ver que la física sí está relacionada con ellos mismos y con las cosas que los rodean. El cambio conceptual ha resultado al plantear sus modelos, ver diferencias y similitudes con los de sus compañeros, dialogar en clase sobre sus implicaciones y contrastarlos con la realidad. Se han dado cuenta de que por el hecho de poseer un modelo pueden pasar por alto resultados experimentales o bien interpretarlos de manera distinta a la aceptada actualmente por la comunidad científica. También ha contribuido en el cambio conceptual el hecho de tener que leer sobre el tema, ver diferentes aplicaciones, no pudiéndose limitar a los apuntes de clase. Las lecturas fueron señaladas por los estudiantes como el elemento que más ha contribuido en la asimilación de los distintos temas.

Mapas conceptuales

Los mapas conceptuales, no son más que esquemas o diagramas donde se muestra la interrelación de los conceptos. No existen reglas fijas que deban ser observadas al construir un mapa, por lo que no puede afirmarse que hay un mapa que sea "el correcto". Algunos autores [10,11] afirman que debe haber una jerarquización dentro del mapa, pero si queremos que realmente refleje la estructura conceptual del sujeto, no hay por qué forzar la jerarquización. En esta experiencia, se pensó en utilizar los mapas conceptuales como un medio para conocer la evolución de los estudiantes en cada tema.

El procedimiento utilizado en clase ha consistido en pedir a los alumnos que señalen los conceptos fundamentales del tema y unan por medio de flechas y notas explicativas los conceptos relacionados hasta obtener un mapa conceptual. Se presentaron algunos esquemas para que se dieran cuenta de lo que se les estaba pidiendo. No se les solicitó explícitamente que jerarquizaran los conceptos claves y

los subordinados a estos. Se ha obtenido una gran gama de organizaciones, ya que cada persona puede establecer las relaciones y las jerarquías de los conceptos de forma diversa.

Los alumnos han podido comparar los mapas realizados antes y después de estudiar un tema. En el tema de la luz se logró no únicamente la ampliación de conceptos relacionados con él, sino una modificación sustancial del concepto mismo. Al evaluar los mapas se puede ver que muchos alumnos poseen una nula o casi nula jerarquía; para ellos existe el concepto central y conceptos aislados relacionados únicamente con el central. Estos mapas tienen en general la forma de una estrella. Hay otros mapas con una organización totalmente lineal, en forma de cascada, donde las relaciones que se indican difieren totalmente de las aceptadas actualmente por la ciencia. Tal vez se pueda pensar que estos mapas responden a modelos alternativos de la ciencia, sin embargo puede ser más lógico el suponer que en estos dos casos se está tratando de responder dentro de un marco académico, que resulta totalmente ajeno al personal, por lo que los mapas muestran una estructuración y comprensión del tema muy pobres.

Para mí los mapas conceptuales resultaron ser un auxiliar extraordinario, ya que por medio de ellos es posible darse cuenta de la estructuración conceptual que cada alumno tiene del tema, no únicamente del número de conceptos, sino de la forma como los relaciona. Es muy ilustrativo comprobar el modo tan distinto en que cada estudiante organiza su conocimiento; aquí yace la dificultad principal, ya que al ser diferentes en forma, extensión y relaciones, no permiten ningún tipo de comparación, por esto mismo fue muy problemático evaluar los mapas objetivamente. Esto limita su potencia como posible instrumento de evaluación del aprendizaje, aunque siguen siendo un buen reflejo de la organización de la estructura conceptual del sujeto y de la evolución de ésta.

Los mapas conceptuales permiten, en muchos casos, reconocer relaciones y significados de los que no se estaba consciente antes de realizar el mapa [12]. Se consideró importante realizar un mapa conceptual en equipo ya que esto facilita la obtención de los conocimientos considerados claves por el grupo. Se pudo observar que los mapas elaborados en equipo son más completos tanto en los conceptos como en las correlaciones, que los elaborados individualmente. Aún no es posible afirmar que únicamente por el hecho de trabajar con mapas conceptuales se logre una mayor sistematización de los conocimientos, lo que sí se puede decir es que ponen al descubierto la manera en que una persona o grupo estructura, jerarquiza, diferencia, relaciona y discrimina los conceptos en una determinada unidad de estudio, tema o disciplina. Muy pocos alumnos consideran útil la construcción de un mapa para avanzar en su organización conceptual, aunque algunos lo señalan como esencial para la estructuración lograda en cada tema.

Comentarios y conclusiones

“Nunca pensé que el oír y hablar tuviera algo que ver con la física. Siempre me la enseñaron como algo muy abstracto, pero está aquí...”

"Ahora sé que la física puede ser bonita. Tiene que ver conmigo y con lo que me rodea".

"Esta es la segunda vez que curso la materia. La dejé durante varios trimestres porque no le veía sentido; en cambio ahora veo que me ha servido para entender cosas que había estudiado".

"Así (con experimentos) se le puede captar más a la física que con puras fórmulas".

"La física se hizo física".

"Para mí, física eran las leyes de Newton y problemas, muchos problemas..."

"Las matemáticas son muy difíciles y si lo primero que nos ponen en física son fórmulas, entonces ya no entendemos nada".

Con lo anterior puede verse claramente el cambio de actitud y concepción respecto a la física. Es menos horrible, un poco más cercana y más comprensible. Al comparar los mapas conceptuales anteriores al tema con los posteriores al mismo, se puede ver que hay un cambio en la estructuración y número de conceptos; esto quiere decir que se ha profundizado y avanzado en el tema pero no puedo asegurar que se haya modificado el esquema personal, ni tampoco descartar el hecho de que puedan estar contestando desde un marco académico.

Ante la pregunta de qué es lo que a cada uno le ha ayudado más en el aprendizaje, la respuesta unánime fue "las lecturas", que podría traducirse por "estudiar" (¡es el colmo!, no puede ser que hasta la universidad se den cuenta de la necesidad del estudio). También se señaló como positivo el hecho de poder expresar sus modelos y preguntas en un ambiente de aceptación. Se le dio menos importancia a las demostraciones y explicaciones de clase, aunque algunos señalaron que los experimentos realizados tanto en clase como en casa habían contribuido en forma definitiva a la comprensión del tema. Como se mencionó anteriormente muy pocos dieron importancia al hecho de tener que estructurar y jerarquizar las concepciones por medio de un mapa.

Esta experiencia no puede considerarse concluída hasta haber realizado, dentro de aproximadamente un año, un examen a los estudiantes donde se pueda descartar la posibilidad de que en este momento estén respondiendo desde un marco puramente académico. Se considera importante el comprobar si el cambio conceptual es persistente en el tiempo. Sin embargo puede considerarse que los tres cursos fueron un éxito por la participación e interés de los alumnos en la clase, su permanencia en el grupo (la deserción fue muy baja) y el alto índice de aprobación.

Referencias

1. P. Segarra, *Corrientes actuales en la didáctica de las ciencias*, Reporte interno 1/89, Facultad de Ciencias, Departamento de Física (1989).
2. R. Osborne and P. Freiberg (eds.), *Learning in Science. The implications of children's science*. Heinemann, London (1985).
3. J. Stepan, S. Dyche, R. Beiswinger, *Sci. Edu.* **72** (1988) 185-195.
4. T. Serrano, *Bordón* **268** (1987) 363-386.
5. G. Posner, K. Strike, D. Hewson, W. Gertzog, *Sci. Edu.* **66** (1983) 211-227.
6. R. Driver, *Euro. J. Sci. Edu.* **3** (1981) 93-101.

7. P.A. Bravo, M. Romero, E. Vargas, presentado en I Seminario de educación en materias con alto índice de reprobación (Física), (1989).
8. M. Arcá, P. Guidoni, *Proceedings of U.S.-Italy joint seminar on science education for elementary school children*, D.E. Hadary, M. Vicentini eds., Villa Falconieri, Frascati, Italy (1983) 29-39.
9. M. Mota, J.J. Espinosa, *Circuitos Eléctricos*, Serie Manuales Preparatorianos/3, UNAM (1989).
10. J. Novak, D.B. Gowing, *Learning how to learn*, Cambridge University Press, London (1983).
11. M.A. Moreira, *Contactos* abril-junio (1988) 38-57.
12. P. Segarra, *Memorias del Encuentro Pedagógico UIC-90* (1990).

Abstract. The purpose of most of the actual studies in preconceptions is the description and comprehension of the students' models. Education aims to facilitate conceptual change and to enable the students to know and to use the explanations currently accepted by the scientific community. How can a teacher provoke a conceptual change in his/her students? This study presents the results obtained in working with three groups of university students who participated in a basic physics course.